

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Nap és szélenergiás hibrid rendszerek energetikai
modellezése

Doktori értekezés

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

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSJEGYZÉK.....	5
1. BEVEZETÉS.....	7
1.1. A választott témakör jelentősége.....	7
1.2. A kitűzött célok	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
2.1. A szélenergia alkalmazása, elmélete	9
2.2. A szélesebesség időbeli változása	10
2.3. Szélesebesség változás magasság és a környezeti tényezők hatására....	12
2.4. A szélerőmű teljesítménye.....	14
2.5. A szél mérése.....	20
2.6. Kisteljesítményű szélgenerátorok energetikai jellemzése	25
2.7. Napenergiás fotovillamos rendszerek elemzése.....	33
2.7.1. A Napgeometria elemei.....	37
2.7.2. Napsugárzási modellek	41
2.7.3. Dőlt elnyelő felületen hasznosítható napsugárzás	44
2.7.4. Hibrid fotovillamos és szélgenerátoros rendszerek	48
2.7.5. Az energetikai szélmérs kerszerű módszerei (SODAR)	54
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	57
3.1. Energetikai célú szélmérések.....	57
3.1.1. NRG Szélesebesség szélirány mérőrendszer.....	57
3.1.2. Szélesebességmérők tesztelése.....	61
3.2. Fotovillamos rendszerek jellemzése.....	62
3.2.1. Napsugárzási adatok mérése.....	62
3.2.2. Fotovillamos modul jellemzése.....	71
3.2.3. Fotovillamos rendszer jellemzése.....	71
3.2.4. A hibrid rendszer alkotóelemei, eszközei.....	76
3.2.5. A PV rendszerek telepítésekor alkalmazott környezeti elemzés eszközei, módszerei.....	79
3.2.6. Hibrid rendszer energiafogyasztóinak villamosenergia ellátó vezérlőrendszere	82
4. EREDMÉNYEK.....	85
4.1. Meteorológiai helyzetelemzés.....	85
4.1.1. Szélesebesség adatok elemzése	85
4.1.2. Kis teljesítményű szélgenerátorok energiatermelése.....	94

4.1.3. Kanalas szélesebbégmérők szélcsatornás mérése.....	96
4.1.4. Napsugárzási adatok elemzése	99
4.2. Hibrid fotovillamos-szél energiatermelő rendszer elemzése	104
4.3. Hibrid rendszerre jellemző paraméterek elemzése	110
4.4. A nap és szélenergia potenciál komplementaritása	113
4.5. PV modult jellemző jelleggörbét leíró modell eredményei	115
4.6. Nappálya diagramszerkesztő modell.....	116
4.7. Fotovillamos és szélenergiás hibrid rendszerek gazdasági elemzése	117
4.8. Új tudományos eredmények.....	121
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	125
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	126
7. ANGOL NYELVŰ ÖSSZEGZÉS.....	127
8. MELLÉKLETEK.....	129
M1: Irodalomjegyzék.....	129
M2: A témakörhöz kapcsolódó saját irodalom.....	132
M3: Fontosabb diagramok.....	134
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	145

JELÖLÉSJEGYZÉK

A_{pv}	[m ²]	PV rendszer felülete
t	[s]	idő
AOE	[kWh/év]	a szélgenerátor éves energiatermelése
A_w	[m ²]	szélgenerátor rotor felülete
c_p	[-]	teljesítménytényező
D	[m]	rotor átmérő
E	[J]	energia
E_w	[J]	a levegő mozgásienergia árama
I	[W/m ²]	napsugárzás
k	[-]	Weibull alaktényező
\dot{m}	[kg]	tömeg
\dot{m}_c	[kg/s]	tömegáram
p	[Pa]	légnomás
P	[Js ⁻¹ m ⁻²]	teljesítménysűrűség
P_n	[W]	szélgenerátor névleges teljesítménye
T	[°C]	levegő átlaghőmérséklete
NOCT _v	[°C]	normál működési hőmérséklet
W_p	[W]	névleges csúcsteljesítmény
PV _{wp}	[W]	fotovillamos mező névleges csúcsteljesítménye
WG _{wp}	[W]	a szélgenerátor névleges csúcsteljesítménye
\bar{DOD}	[%]	az akkumulátor mélykisülés értéke
E_L	[kWh nap ⁻¹]	a napi energiafogyasztás
v	[ms ⁻¹]	szélsebesség
H	[kWhm ⁻² nap ⁻¹]	a PV felületre érkező energiahozam
v_i	[ms ⁻¹]	indulási szélsebesség
v_{max}	[ms ⁻¹]	szélsebesség maximuma
v_{min}	[ms ⁻¹]	szélsebesség minimuma
C	[Ah]	tároló kapacitása
η	[%]	rendszer hatásfoka
η_g	[%]	szélgenerátor hatásfoka
H_{pv}	[%]	PV modul hatásfoka
ρ_m	[kgm ⁻³]	levegő sűrűsége

1. BEVEZETÉS

E fejezetben a választott témakör időszerűségére mutatok rá és a dolgozat célkitűzéseit fogalmazom meg.

1. 1. A választott témakör jelentősége

Köztudomású, hogy a világ energiagondokkal küzd. A hagyományos energiahordozó készleteink végesek és az elégetésük során kibocsátott szennyezőanyagok terhelik a környezetet. Ugyanakkor az energiafelhasználás ütemének növekedése is jellemzi a mai fogyasztói társadalmat. Az energiafelhasználás ésszerű csökkentése mellett az említett gondok megoldására a megújuló energiák használata kínál lehetőséget. Hosszútávon értelmezve a nap a szél, a biomassa és a geotermikus energiák készlet jellegűek, folytonos természeti energiaforrásnak tekinthetők. Ezt külső forrásunk, a Nap biztosítja és ezen energiák alkalmazása nem párosul környezetszennyezéssel. A nap, víz, szél, biomassa és geotermikus energiák használata szükségszerűvé vált és egyre nagyobb arányt kell képviseljen az energia-felhasználás mérlegében.

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). Románia ezen belül vállalta, hogy a megújuló energiával termelt villamos energia esetében 30%-os részarányt teljesít 2010-ig (Megújuló energiahordozók alkalmazására vonatkozó 2003. évi 1535 Kormányhatározat). Ezt a részarányt Románia már 2003-ben túlteljesítette, azonban a tervezett energiahordozó felhasználás hazai stratégiája szerint a zöld villamos energia arány további növelése szükséges. A kitűzött célok: 2010-re 6,5%, 2013-ra 11,4%. Ezen kívül az összes megújuló energia részarányát a 2005. évi 5,3%-ról 2010-re legalább 8,2%-ra, 2013-ra 14%-ra kívánják növelni a romániai energiafelhasználáson belül. Az EU 2007 márciusi brüsszeli találkozásán 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 energiatípus alkalmazása a hatékonyabb. Románia területén a globális sugárzás értéke a déli órákban átlagos napsütés esetén, októbertől márciusig 250-600 W/m², áprilistól szeptemberig 600-1100 W/m² értékek között változik. Az egész éves, teljes sugárzás-jövedelem 1100-1300 kWh/(m²év) értékű. A szélességek szempontjából az ország öt egymástól elkülönülő régióra osztható. Ezen adatokat a 8.1. melléklet szemlélteti (Környezetvédelmi Minisztérium adatai alapján). Ugyanitt látható a napsütésből adódó összes besugárzása éves területi eloszlása is. Így hazánk éghajlati adottságai kedvezőnek mondhatók a napenergia illetve és a szélenergia felhasználását illetően. Megjegyzem, hogy jelenleg több európai régió élenjár a megújuló energiaforrások alkalmazásában, így pl. Felső-Ausztria tartománya az

energiaszükségletének 30%-át megújuló energiaforrások biztosítják és merész célkitűzést vállalt, miszerint 2020-ra a teljes energia szükségletet megújuló energiaforrásokból fogja fedezni. Linz környéken egy új szolár városnegyed épült (Solar city Linz) jelentős EU támogatással. Az Unió keretében a beépített energiamix eloszlását 1995 és 2007 évi adatok alapján a 8.2. melléklet ábrázolja. Amint az ábrák szemléltetik, a klasszikus energiahordozókból termelt energia részaránya csökkent, amely a metángáz felhasználás növekedésével valósult meg, növelve az Unió energia függőségét. A napenergia passzív felhasználása építészeti megoldásokban jelentkezik. Az aktív hasznosítás napenergiát átalakító eszköz működtetésével valósítható meg. Ezen belül a fotovillamos rendszerek segítségével a napenergiából villamos energiát nyerünk. A napkollektorok a napsugárzást elnyelik és a keletkezett hőt alkalmas munkaközegnek adják át.

1.2. A kitűzött célok

Az elmúlt időszakban kialakult környezeti változás előtérbe helyezte a környezetbarát energiaforrások alkalmazását. Ennek egyik példája a fotovillamos és szélenergia-hasznosítás. Jelenleg Románia területén 100000 gazdaság létezik, amelynek villamosenergia ellátása megoldatlan, mert a nemzeti hálózatra való csatlakozásuk bonyolult. Ezek a gazdaságok szétszórva, települést nem alkotva léteznek, különösen a hegyvidék, illetve a Duna-delta területén jellemzőek. A munkám során, ezen gazdaságok villamosenergia ellátására használható rendszert dolgoztam ki. Az értekezésem megírásakor célul tűztem ki, hogy tartalmában szorosan kapcsolódjon a fejlesztések keretében kialakított rendszerek (fotovillamos, szél) jellemzéséhez. A munkám során az értekezéshez megfogalmazott célok:

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 számított és mért teljesítmények pontosságának a meghatározása.

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.

Kiteljesítményű 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. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az érdemi kutatómunkát a témakörhöz kapcsolódó szakirodalom részletes, elemző áttekintése előzte meg. A szakirodalom elemzése két témakörre összpontosult éspedig a helyszíni adatok és adatregisztrálási rendszerek elemzésére, valamint a nap és szélenergiás hibrid rendszerek energetikai tanulmányozására.

2.1. A szélenergia alkalmazása, elmélete

A szélesebbesség vektormennyiség, amely nagysággal és iránnyal rendelkezik. A meghatározás alapján a szél a légkör termikus egyensúlyának megbomlásából eredő légmozgás, amelynek egy másodpercre vonatkozó mozgási teljesítménye:

$$E_w = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 = \frac{1}{2} (\rho A v) v^2 \text{ [W]}, \quad (2.1)$$

ahol :

A- a vizsgált felület (a szélgenerátor rotor felülete) [m²],

v- a szél sebessége [m/s],

ρ-a levegő sűrűsége [kg/m³].

A fenti összefüggés alkalmas a fajlagos széltejesítmény meghatározására, ha a felület egységnyi.

Amint látható, a szélenergia arányos a levegő sűrűségével, vagyis magasabb helyszínen azonos szélesebbességhez kevesebb energia tartozik. Meteorológiai szélesebbesség számítások esetében az átlagos szélesebbeséget alkalmazzuk, ez azonban energetikai számításoknál nem alkalmazható. Ebben az esetben a szélesebbesség köbök átlagát kell alkalmazni. A szélgenerátorok esetében a termelt energia arányos a rotor átmérő négyzetével.

Betz törvénye alapján egy szélérőmű a szél kinetikus energiájának legfeljebb 16/27- e részét (59%- át) tudja mechanikai energiává alakítani. A szélérőmű maximális teljesítménye tehát az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$P_w = \frac{16}{27} \frac{1}{2} (\rho A) v^3, \text{ [W]} \quad (2.2)$$

ahol:

P_w- a szélgenerátor elméleti teljesítménye

16/27- a Betz féle maximum hatásfoktényező

Ismert, hogy a turbina jelleggörbéje nélkül is meghatározható a turbínával nyert energia a mért szélesebbesség alapján.

A levegő sűrűsége a hőmérséklet függvénye. Az alábbi adatsor ezt a kapcsolatot szemlélteti légköri nyomáson. (8.3.1 és 8.3.2. melléklet)

T, [°C]	-20	-10	0	20	30	35	40
ρ[kg/m ³]	1.377	1.324	1.275	1.188	1.149	1.146	1.127

A szélesebbeséget és a szélirányt a légkör mozgása, a hőmérséklet változása és a helyi domborzati tényezők határozzák meg. Ez a változás hosszabb-rövidebb idő alatt valósul meg, de a hirtelen megjelenő frontok képesek rövid idő alatt megváltoztatni a sebességértéket. Ez kifejti hatását a szélgenerátorok energiatermelésére is. Így turbulenciák alakulhatnak ki és a szélerőművek lassan reagálnak ezen a változásokra. A jelenség kialakulása kifejti hatását a rendszer energiatermelésére (Quasching V.(2006), Patay (2003), Gasch (2002)).

2.2. A szélesebbesség időbeli változása

Egy helyszín széladatainak elemzése a gyakorlatban éves átlagokkal határozható meg. Gyakori a legjobb statisztikai felmérések esetében a tíz éves adatgyűjtés is. Az energetikai szélmérés esetében elterjedt az 1 - 60 másodperces mintavételezési adatsorból képzett tíz perces átlagok, amelyek mind a szélesebbeségre mind pedig a szélirányokra vonatkoznak. A gyakorlatban számos eloszlási függvényt alkalmaztak a szélesebbesség statisztikai elemzéséhez. Ezek közül a leggyakoribb a Rayleigh illetve a Weibull eloszlás. Mindkettő kétparaméteres eloszlás függvény és a mért adatok a legjobb pontossággal illeszkednek az adatsorra. Az eloszlás alakja:

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{C} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{C} \right)^k}, \quad (2.3)$$

ahol :

v a szélesebbesség, [m/s]

C a skálatényező, [m/s]

k az alaktényező.

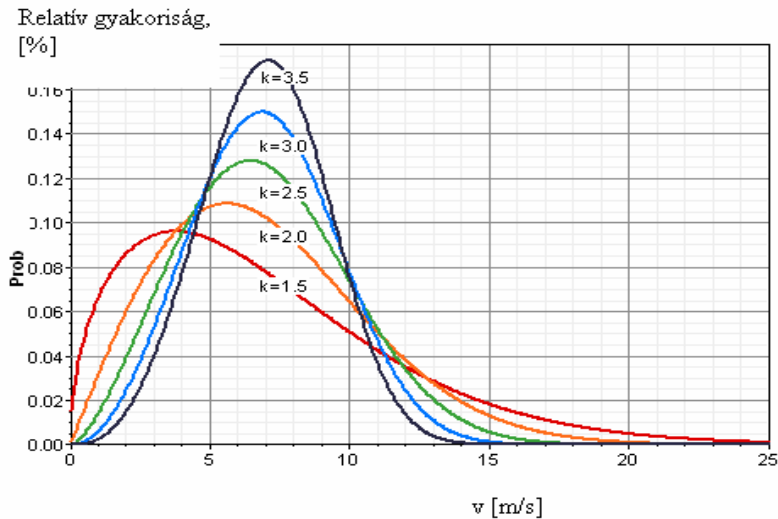
Ha “ k ” értéke 2, akkor az eloszlás azonos a Rayleigh eloszlással, ha értéke 1, akkor exponenciális eloszlás alakul ki. Észak-Európa esetében az alaktényező értéke közelítőleg egyenlő kettővel. A mért tényező értéke megegyezik a mért átlagos szélesebbeséggel. A fentiek alapján a Rayleigh eloszlás függvény alakja:

$$f(v) = \frac{\pi}{2} \frac{v}{v_a^2} e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_a} \right)^2} \quad (2.4)$$

ahol: v_a az átlagos szélesebbesség

A szélesebbesség-eloszlás matematikai leírásával meghatározható a relatív szélesebbesség gyakoriság, a szélgenerátorok kihasználási tényezője és ez által az erőmű átlagos teljesítménye, (Tóth et al, 2003).

A Weibull eloszlást különböző alaktényezők esetére a 2.1. ábra szemlélteti



2.1. ábra A Weibull eloszlás alakulása különböző k értékek esetében
(forrás: Mistaya Engineering Inc, 2008)

A szélesebb eloszlási adatok ismeretében meghatározhatjuk az adott helyszínen működő szélgenerátor energiatermelését. Sok esetben ajánlott a Rayleigh eloszlás alkalmazása a kis teljesítményű szélgépek energiatermelésének a becslésekor. Ebben az esetben ismert az éves sebesség átlag, a k tényező értéke kettő és a C ($C=v_a$) tényező az alábbi egyenlet alapján határozható meg:

$$v_a = C \left(0.568 + \frac{0.434}{k} \right)^k, \quad (2.5)$$

az egyenletet Molly (1990) összefüggéseként említi a szakirodalom.

A C paraméter értéke k=2 esetre a Molly egyenlet alapján a következő:

$$C_{k=2} = \frac{v_a}{0.886} \approx \frac{2}{\sqrt{\pi}} v_a. \quad (2.6)$$

A C és k paraméterek értékét az adott helyszínre kell meghatározni, kontinentális viszonyok között pl. $1.5 < k < 3$ és $C = 1-12$ m/s, vagyis a mért szélesebb eloszlási adatok ismeretében. A fenti paramétereket a mért telephelyre és a referencia mérőállomásra vonatkoztatva kell megadni. A referencia mérőállomás adatai általában tíz éves átlagértékeket tartalmaznak.

A szakirodalom grafikus módszert is megemlít a Weibull tényező meghatározására, ha a 2.3. egyenletet logaritmáljuk és ábrázoljuk a logaritmált szélesebbesség-változás függvényében a logaritmált eloszlás értékeit. Az így kapott egyenes iránytangense a Weibull tényező értéke, míg C az egyenes metszéspontja az $\ln v$ tengellyel (Gasch 2002).

2.3. Szélesebbesség változás a magasság és a környezeti tényezők hatására

Mint ismeretes, a szélesebbesség értéke változik a mérési magassággal. A meteorológiai állomások szélesebbesség mérési adatai kis magasságban készülnek, így energetikai becslésre nem alkalmazhatók. A szélesebbesség egy tetszőleges h magasságban az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v(h_2) = v(h_1) \frac{\ln\left(\frac{h_2 - d}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1 - d}{z_0}\right)} \quad (2.7)$$

ahol:

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

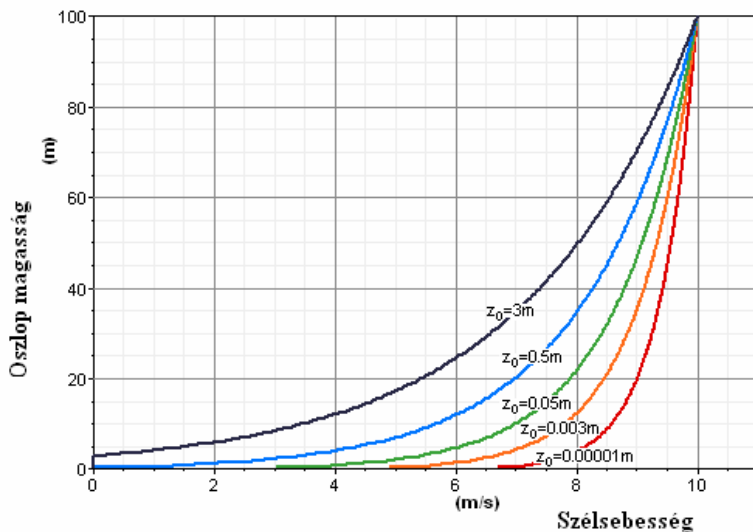
d , egy paraméter-helyettesítő magasság, amely a környezeti akadályok jelenlétére utal, akadálymentes helyszínen értéke 0, és akadályok esetében értéke 70%-a az akadály magasságának.

z_0 a felszíni egyenetlenség mértéke, ez a területen található növényzettel van kapcsolatban és különböző értékeit az alábbi adatsorban foglalom össze.

Egyenetlenség osztály	Felszíni egyenetlenség, z_0 (m)	Terület jellege
1	0,0002	Nyílt tenger
2	0,005	Simított földfelszín
3	0,03	Mezőgazdasági terület, legelő
4	0,1	Körülzárt mezőgazdasági terület
5	0,25	Cserjék, bozótos terület
6	0,5	Külváros, park fákkal cserjékkel
7	1	Város
8	2	Nagy városközpontok

(forrás: Cristofer and Ulbricht-Eissing, 1989, Gipe 2004)

Amint a 2.2 ábra mutatja, a környezeti tényezők jelentősen befolyásolják a szélesebbesség változását a magasság függvényében, különösen a kis egyenetlenségi érték jelentős hatást gyakorol a sebességérték változására.



2.2. ábra A környezeti egyenetlenség hatása a szélsebességre
(forrás: Windorhaph software)

E jelenség hatása nem elhanyagolható a kisteljesítményű szélgépek telepítésekor sem, mivel a sebesség növekedés jelentős, pl. a fenti ábra alapján más magasságban telepített szélrotor teljesítménye növekszik, ha a környezet felülete sima, akadálymentes.

A mérnöki gyakorlatban inkább a hatványkitevős képletet alkalmazzák, amely alakja:

$$\frac{v}{v_g} = \left(\frac{h}{h_g} \right)^\alpha \quad (2.8)$$

ahol:

h a magasság, (m)

h_g a határmagasság (m), általában a meteorológiai méréseknél alkalmazott 10 m magasságon mért szélsebesség

v a h magasságban mérhető szélsebesség

v_g a határmagasságban mért szélsebesség

α a terep egyenetlenségétől, a szélsebességtől függő tényező, amely értékét a helyszín beépítési sűrűsége, a növényzet és a meglévő épületek magassága határozza meg. A szakirodalomban Davenport adatai alapján e kitevő értéke a környezeti tényezők szerint a következő (Tóth 2003):

-Sík mező 0,12

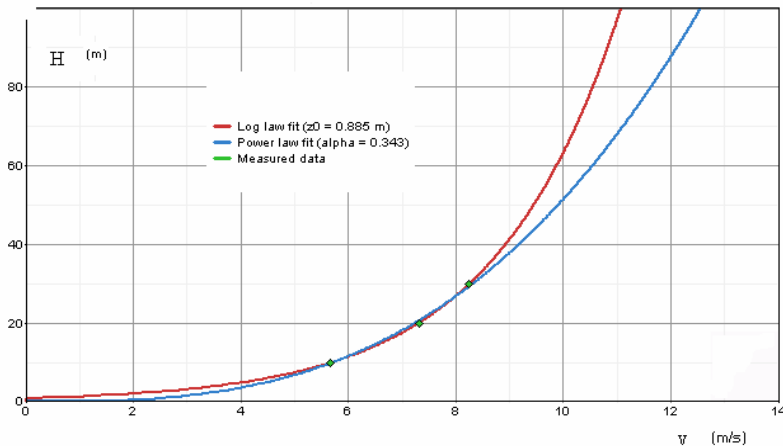
-Nyílt terep 0,16

-Erdős síkság 0,28

2. Irodalmi áttekintés

- Település alacsony épületekkel 0,35
- Település magas épületekkel 0,5

A 2.3. ábra e tényező értékét és a szélesebbesség magasság szerinti változását szemlélteti.



2.3. ábra A szélesebbesség változása a magasság függvényében
(forrás: saját mérés, Windgraph feldolgozás)

Amint a fenti ábra szemlélteti, az egyenletlenségi tényező értéke 0,343, ami megfelel a helyszíni leírásnak (a mérés helyszínének) vagyis egy alacsony épületű településre jellemző.

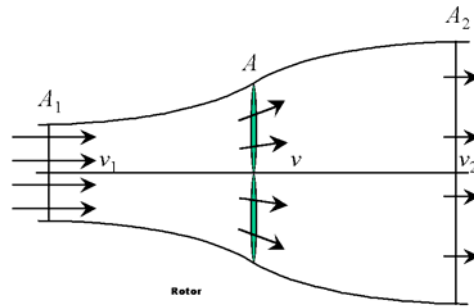
2.4. A szélérőmű teljesítménye

Betz törvénye alapján egy szélérőmű a szél kinetikus energiájának 59%-át tudja mechanikai energiává alakítani. A turbina karakterisztikájától függetlenül a szélgépjelenség energiatermelése a helyszíni szélesebbesség szerint határozható meg. Adott szélesebbeségek esetén az adott teljesítménysűrűség értékét a 2.1. táblázat szemlélteti (Gipe 2004, Tóth 2003, Sembery et al, 2004, Gasch, 2002, Khan et al 2005).

2.1. táblázat Teljesítménysűrűség változása a szélesebbességgel

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

A szélgenerátor rotor A felületén áthaladó közepes szélesebbesség az érkező v_1 és a távozó v_2 szélesebbesség átlaga (2.4. ábra).



2.4. ábra Szélesebesség változása a rotor előtt és után

A rotoron áthaladó légtömeg (tömegáram):

$$\dot{m} = \rho A \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.9)$$

A rotor felületén áramló szélből kinyert teljesítmény a tömegáram és a sebesség szorzata:

$$P_T = \rho A \frac{(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2)}{4} \quad (2.10)$$

A rotor felületével azonos keresztmetszeten áthaladó levegő teljesítménye az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \quad (2.11)$$

Meghatározva a fenti két teljesítmény arányát megkapjuk a c_p teljesítmény tényező értékét:

$$\begin{aligned} c_p &= \frac{P_T}{P_0} = \frac{(v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2)}{2v_1^3} = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{v_1} + 1 \right) \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Betz 1926-ban meghatározta e tényező maximális értékét, amelyet ideális teljesítmény értéknek nevezett. Ennek értéke:

$$c_{P,Betz} = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (2.13)$$

A gyakorlatban a szélből nyerhető energia 59%-a az összteljesítménynek. Ezt az értéket $v_2/v_1=1/3$ esetben érjük el. Vagyis, v_1 [m/s] sebességnél kinyerhető teljesítmény értéke adott A , [m²] felületre:

$$P_{Max} = \frac{16}{27} A \frac{\rho}{2} v_1^3 \quad (2.14)$$

A gyakorlatban a szélgenerátorok nem érik el ezt az értéket, mivel e tényező értéke kisebb a Betz által meghatározott tényezőnél, a c_p értéke 0.4-0.6 közötti. Ismerve a gyakorlati és az elméleti adatokat, meghatározhatjuk a hatásfok értékét:

$$\eta = \frac{P_T}{P_{Max}} = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3 c_{p,Betz}} = \frac{c_p}{c_{p,Betz}} \quad (2.15)$$

Az alábbiakban a különböző akadályok légáramra gyakorolt hatását ismertetem. Ez fontos szerepet játszik a szélenergia termelésében. Ha egy tárgy a légáramban található, akkor a tárgyra a szél által kifejtett erő az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$F_D = c_D \frac{1}{2} \rho A v^2 \quad (2.16)$$

ahol az F_D a tárgyra ható erő axiális komponense és c_d az ellenállás tényező, amelynek értéke a tárgy formájától függő. A következő 2.5. ábra e tényező értékeit szemlélteti néhány geometriai alakzat esetében. Ha figyelembe vesszük a v sebességgel áramló közeg P mozgási teljesítményét, akkor ennek értéke:

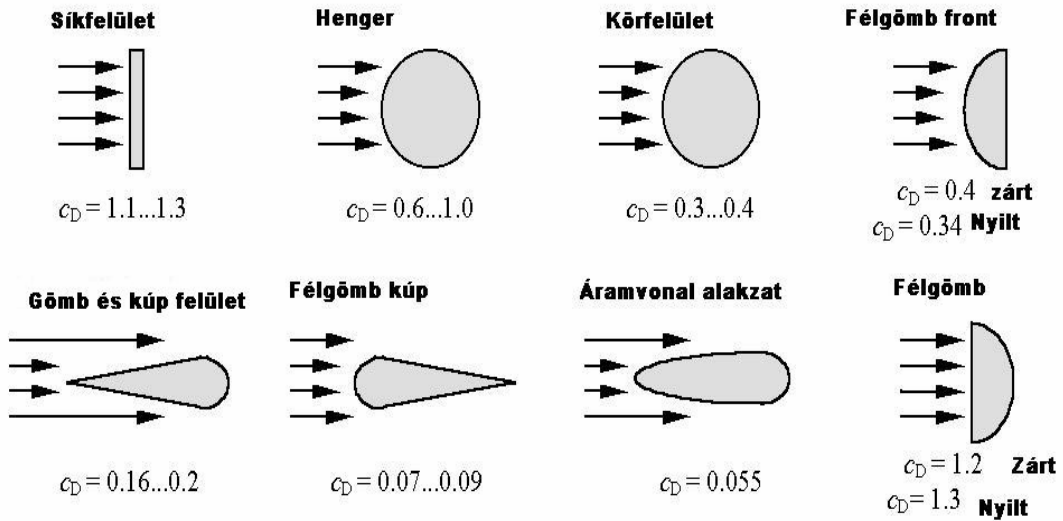
$$\begin{aligned} P_D &= F_D v \\ P_D &= c_D \frac{1}{2} \rho A v^3 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Ha az áramlatban levő test u sebességgel mozog, akkor az erre ható erő értéke:

$$F_D = c_D \frac{1}{2} \rho A (v - u)^2 \quad (2.18)$$

Az áramlási felületre merőleges teljesítmény értéke pedig:

$$P_D = c_D \frac{1}{2} \rho A (v - u)^2 u \quad (2.19)$$

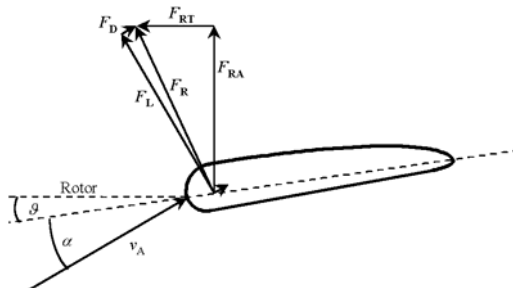


2.5. ábra Fontosabb geometriai formák ellenállástényezője

Mint ismeretes, a testre ható erő egy axiális és egy tangenciális komponensre bontható. A tangenciális erő, a felhajtóerő, amely a tárgyat ”y” irányba igyekszik mozgatni, míg az axiális erő a tárgy ellenállása, amit a légárammal szemben kifejt. E két erő aránya a siklószám ”ε”, amely a szárnyprofil jóságára jellemző mutató, értéke:

$$\varepsilon = \frac{F_L}{F_D} = \frac{c_L \frac{1}{2} \rho A v^3}{c_D \frac{1}{2} \rho A v^3} = \frac{c_L}{c_D} \quad (2.20)$$

Az ívelt jellegű szárnyprofilok esetében a siklószám értéke 80-120 között változik, a szakirodalom 400 körüli értékkel jellemzi a jó minőségű rotort. A szárnyprofilra ható erők helyzetét a 2.6. ábra szemlélteti.



2.6 ábra. A szárnyprofilra ható erők

A gyakorlatban mindkét tényező értéke függ a széláramlás szögétől (α), a megfűvési szögtől. Energetikai szempontból az előnyös, ha az axiális erő $F_x \rightarrow 0$ míg a tangenciális komponens értéke minél nagyobb. Gash és Twele 2002-ben

2. Irodalmi áttekintés

mérések alapján meghatározta az ellenállás-tényező értékét kifejező összefüggést, ha $\alpha < 10^\circ$: (Quasching 2006)

$$c_D = \frac{5.5\alpha\pi}{180} \quad (2.21)$$

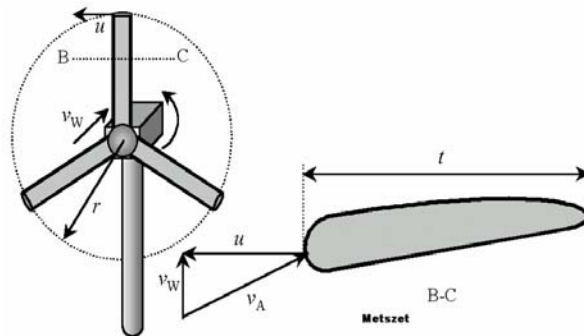
Egy adott rotor rácselem sebességviszonyát a 2.7. ábra szemlélteti, amelyben a v_a , a párhuzamos szélsebesség értéke az u kerületi sebesség és a lapátra rálépő, relatív v_w sebesség összege, vagyis:

$$v_a = \sqrt{u^2 + v_w^2} \quad (2.22)$$

$$\lambda = \frac{u}{v_w}$$

$$v_a = v_w \sqrt{1 + \lambda^2}$$

ahol a “ λ ” a rotor gyorsjárási tényezője, vagyis a rotor legkülső pontján mérhető kerületi sebesség és a szélsebesség viszonyozása. A gyakorlati adatok alapján a rotorkok lehetnek lassújárásúak “ $\lambda < 4$ ” és gyorsjárásúak “ $\lambda > 4$ ” esetén.



2.7. ábra. A rotorra ható erők és a sebességek

A gyorsjárási tényező értéke tehát:

$$\lambda = \frac{u}{v_w} = \frac{2\pi Rn}{v_1} \quad (2.23)$$

A gyorsjárási tényező egyben a teljesítménytényezőnek és a nyomatéktényezőnek a hányadosával is megegyezik, vagyis:

$$\lambda = \frac{c_p}{c_m} \quad (2.24)$$

A szélkerék lapátok csak egy adott gyorsjárási tényezőnél működnek maximális hatásfokkal, amely a szélkerék típus függvénye. Jhonson (2002) szerint e tényező az optimális méretezési tényező (λ_d), amely az adott típusú szélkeréknél a maximumot éri el, vagyis: $\lambda_d = \lambda(c_{pmax})$. E tényező értéke:

- | | |
|---|-----------------|
| A- amerikai típusú szélkeréknél (16 lapát) | $\lambda_d = 1$ |
| B- holland típusú szélkeréknél (4 lapát) | $\lambda_d = 2$ |

2. Irodalmi áttekintés

C – 3 szárnylapátú szélkeréknél	$\lambda_d=4$
D – 2 szárnylapátú szélkeréknél	$\lambda_d=7$

A gyakorlatban ismert az, hogy a legkedvezőbb mechanikai hatásfok egy adott szélsébség és az ennek megfelelő generátor fordulatszám értéknél érhető el. Például egy háromlapátos rotor esetében $\lambda=4$ értéknél és $R=22$ m-es rotor sugárnál a becsült adatokat a 2.3. táblázat szemlélteti.

2.3. táblázat Generátor fordulatszám adott szélsébségre

$n[s^{-1}]$	0.3	0.35	0.56	0.71
$n[perc^{-1}]$	18	21	33.6	42.6
$v[m/s]$	5.92	6.9	11.4	14

A szakirodalom a szélgépek teljesítmény számítására a szélsébség eloszlás elemzésekor a Rayleigh eloszlást alkalmazza, Paul Gipe felhasználja a teljesítmény becsléskor a Golding féle tényezőt, (EPF-Energy Pattern Factor), amely értéke 1,91. Ismerve a szélsébség adatok éves értékeit és felhasználva az előbbi összefüggéseket meghatározhatjuk a teljesítmény-sűrűség és az éves energiatermelés értékét az adott átlag szélsébség értékre. A számítások az alábbi összefüggések alkalmazhatók (Gipe 2004):

az alapszámítás a Betz képlet szerint egy adott A felületre:

$$\frac{P}{A} = \frac{P_{\max}}{A} = 0.6125v^3 EPF, [W / m^2] \quad (2.25)$$

ahol: v az éves átlag szélsébség,
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:

$$\frac{E}{A} = \frac{P_{\max}}{A} \times t = 0.6125v^3 \frac{8760}{1000} EPF, [kWh / m^2] \quad (2.26)$$

Az előbbi eljárás alapján, felhasználva az éves óraszám értékét (24x364), egy adott helyszín szélsébség adataiból meghatározhatjuk az éves szélpotenciál értékét, melyet a 2.4. táblázat részletez.

2.4. táblázat Éves szélpotenciál értéke

Éves átlag szélesség, (m/s)	Névleges széltejesítmény, (W/m ²)	Éves névleges szélenergia potenciál, (kWh/m ²)
4	75	656
5	146	1281
6	253	2214
7	401	3515
8	599	5247
9	853	7471
10	1170	10248
11	1557	13640

Alkalmazva az előbbi adatokat, egy kisteljesítményű szélgenerátor esetére, Southwest Windpower Air 403, amelynek rotor felülete 1m², egy olyan helyszínre telepítve ahol az éves átlag szélesség 4 m/s, a generátor 650 kWh/év energiát képes átvenni a környezetből. Mivel a szélgépek működési magassága a mért szélesség magasságánál nagyobb, ezért a számoláskor e tényező hatását is figyelembe kell venni. A valóságban a szélgépek teljesítménye ennél kisebb, mivel a rotor és a generátor közti energiaátadás hatásfoka jóval kisebb a Betz értéknél. A kis szélgépek hatásfoka általában 20-30 % közötti. A szakirodalom szerint a hatásfok értéke a szélesség növekedésével csökken, ami a fellépő surlódási erők hatására történik. Egy adott helyszínen egy szélgenerátor által termelt energia a pillanatnyi szélesség függvénye, amelyet a helyi hőmérsékleti és a helyi domborzati viszonyok befolyásolnak. A szél jellegének változása hosszabb rövidebb idő alatt megy végbe, amelyet a generátor sok esetben nem tud követni. Ezért is kisebb a hatásfokuk, (Hrayshat et all 2007, Bagul 1996).

2. 5. A szél mérése

Egy szélgenerátor telepítése általában a helyszíni szélpotenciál meghatározásával kezdődik. Mint ismeretes a méréseket rendszerint különböző magasságon végezzük. Kis teljesítményű szélgépek esetében elegendő a két magasságon végzett mérés, egy 10 méteren és egy a szélturbina működési közép magasságában. Az adatok alapján átszámítható a várható szélesség a generátor működési magasságára. Az átlagos szélességek méréséhez általában kanalas anemométereket használunk. Ezek megbízhatóak, és a mérés pontossága is elfogadható. Minden forgórészes anemométernek van egy távolság és egy időállandója. A távolságállandó a légoszlop hosszát jelenti, melynek a műszer érzékelőjén át kell haladnia mire a műszer a sebességváltozás 63.2%-át érzékeli. Ez a levegő sűrűségének is a függvénye. A szélirány meghatározására két módszer ismeretes. Az egyik az éghajlatkutatásban alkalmazott fő és mellékirányok, (égtájak) leírásával történik (2.5. táblázat).

2.5. táblázat Alkalmazott szélirányok

Főirányok							
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mellékirányok							
NNE	ENE	ESE	SSE	SSW	WSW	WNW	NNW

A szélirányok megjelölése az égtájak angol megnevezéseinek kezdőbetűiből adódik: N- észak, S- dél, E -kelet, W- nyugat.

A másik meghatározási mód a fokok használata, vagyis a szélirány skálának 360 fokozata van. Kezdetben a nyomólapos szélmérőket alkalmazták. Ezek skálabeosztása vizuálisan megfigyelhető ún. tengerészeti skála, a Beaufort-skála, amelynek 12 fokozata van. Napjainkban nem használják. A leggyakoribb mérőmód a rotációs szélességmérők alkalmazásán alapszik, amelyek a kanalas szélességmérők (anemométerek), ezek egy függőleges tengelyre szerelt általában három kanál együttesből kialakított érzékelők, amelyet a szélesség függvényében a szélnyomás mozgásba hoz. A forgótengelyről különböző jelek mérhetők, amelyek egy adatrögzítőhöz kapcsolódnak és speciális szoftverek segítségével kiértékelhetők. Az adatgyűjtők RS 232 illetve USB csatlakozón keresztül kapcsolódnak egy számítógéphez. A mintavételezési idő általában 1 s. Minél kisebb ez az idő, a mérés annál pontosabb. A műszer a két mérési időpont közti átlagokat méri, és ezeket tárolja, vagy küldi a kiértékelő számítógéphez. Az adott adatok alapján meghatározhatjuk a fajlagos szélteljesítményt. Mint ismeretes, a meteorológiai mérések keretében az átlag szélesség értékeit használják, melynek értéke:

$$v_a = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}, [m/s] \quad (2.27)$$

A fajlagos szélteljesítmény becslésekor az előbbi szélesség átlag alkalmazása helytelen, mivel alábecsüljük a szélben rejlő energiát. [Giber 2005, Gipe 2004]. Ezért a kiértékelésnél a szélesség köbök átlagát kell alkalmazni, vagyis:

$$v_a^3 = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i)^3}{n}, [m/s]^3 \quad (2.28)$$

A fenti kijelentést kísérleti adatokkal igazolhatjuk, amely alapján:

$$\left(\sum v_i\right)^3 \ll \sum (v_i)^3$$

Az adatokat a 2.6. táblázat szemlélteti

2.6. táblázat. Példa a fajlagos széltejesítmény meghatározásához

v [m/s]	v ³	p[%]	p·v, sebesség eloszlás, m/s	szélsébség átlagok köbének eloszlása, [m/s] ³
1	1	0,045	0,045	0,045
2	8	0,065	0,13	0,52
3	27	0,1	0,3	2,7
4	64	0,125	0,5	8
5	125	0,125	0,625	15,625
6	216	0,12	0,72	25,92
7	343	0,145	1,015	49,735
8	512	0,092	0,736	47,104
9	729	0,065	0,585	47,385
10	1000	0,04	0,4	40
11	1331	0,02	0,22	26,62
12	1728	0,013	0,156	22,464
13	2197	0,01	0,13	21,97
14	2744	0,005	0,07	13,72
15	3375	0,003	0,045	10,125
16	4096	0,0083	0,1328	33,9968
17	4913	0	0	0
18	5832	0	0	0
19	6859	0	0	0
20	8000	0	0	0
		0,9813	5,8098	365,9298

Meghatározva a szélsébség átlag köbét illetve a szélsébség köbök átlagát:

$$\left(\sum v_i\right)^3 = 5,809^3 = 196,1 \ll \left(\sum v_i^3\right) = 365,9.$$

Látható, hogy a két szélsébség átlag lényegesen különbözik. Előfordulhat, hogy 20%-kal is alábecsülhetjük a szél energiátartalmát, ami jelentős értéket jelenthet, ha nem a megfelelő módszert alkalmazzuk. A széljárásra vonatkozó legfontosabb információk a szélsébség eloszlási statisztikából nyerhetők ki. Ezekből az adatokból meghatározhatjuk az átlagos szélsébséget és az adott szélben rejlő legvalószínűbb széltejesítményt. A szélgenerátoroknál adott a v_i indulási sebesség, a v_n névleges, a v_{max} maximális szélsébség, és a P_{Gn} a névleges teljesítmény. Ezek felhasználásával meghatározható a szélgenerátor átlagteljesítménye:

$$P_{Ga} = P_{Gn} \left[\frac{e^{\pm\left(\frac{v_i}{C}\right)^k} \pm e^{\pm\left(\frac{v_n}{C}\right)^k}}{\left(\frac{v_n}{C}\right)^k \pm \left(\frac{v_i}{C}\right)^k} \pm e^{\left(\frac{v_{max}}{C}\right)^k} \right] \quad (2.29)$$

A szélgenerátor teljesítménye egyes szélsébség tartományokban a következő egyszerűsített egyenletekkel határozható meg:

2. Irodalmi áttekintés

$$\begin{aligned}
 P_G &= 0, \text{ ha } v < v_i \\
 P_G &= a + bv^k, \text{ ha } v_i < v < v_n \\
 P_G &= P_{gn}, \text{ ha } v_n < v < v_{\max} \\
 P_G &= 0, \text{ ha } v > v_{\max}
 \end{aligned}$$

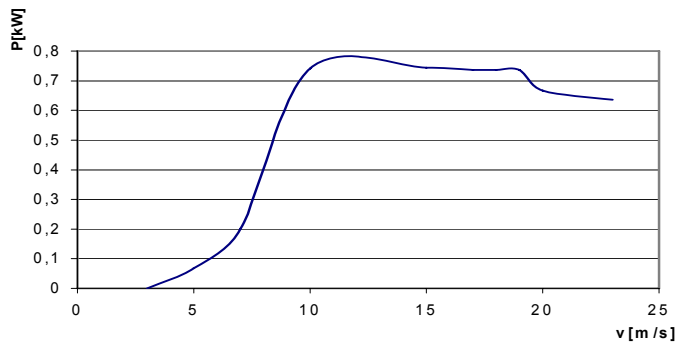
ahol: a és b paraméterek a szélgenerátorra jellemzők, míg a k és C a Weibull eloszlás paraméterei. A szakirodalomban a szélgenerátor óránkénti energiatermelését a karakterisztikus egyenlet segítségével határozzák meg, felhasználva a legkisebb négyzetek módszerét. A valós adatokra legjobban illeszkedő görbe három másodfokú függvény illesztésével érhető el. A karakterisztikus egyenlet egy kis teljesítményű szélgenerátor esetében a következő formában írható fel (Celik 2002, Morgan, 1997,):

$$P_G = \begin{cases} 0, ha(v < v_i) \\ a_1 v^2 + b_1 v + c_1, ha(v_i \leq v \leq v_1) \\ a_2 v^2 + b_2 v + c_2, ha(v_1 \leq v \leq v_2) \\ a_3 v^2 + b_3 v + c_3, ha(v_2 \leq v \leq v_n) \\ 0, ha(v > v_n) \end{cases} \quad (2.30)$$

Például egy 800 W néveleges teljesítményű szélgenerátor esetében a szélgép karakterisztikus egyenlete (v a szélsébség):

$$P_G = \begin{cases} 0, ha(v < 3) \\ 0.07(v - 6)^2 + 0.06(v - 6) + 0.013, ha(3 \leq v \leq 8.5) \\ -0.05(v - 14)^2 + 0.04(v - 14) + 0.68, ha(8.5 \leq v \leq 20) \\ 0.008(v - 22.4)^2 + 0.02(v - 22.4) + 0.68, ha(20 \leq v \leq 25) \\ 0, ha(v > 25) \end{cases} \quad (2.31)$$

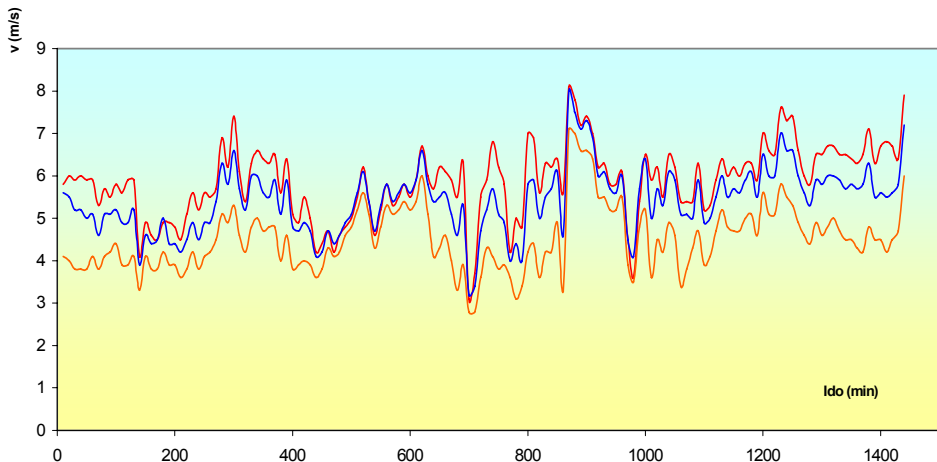
A fentiek alapján a szélgenerátor jelgömbje a 2.8. ábrán látható.



2. 8. ábra. A szélgenerátor teljesítmény jelleggörbje

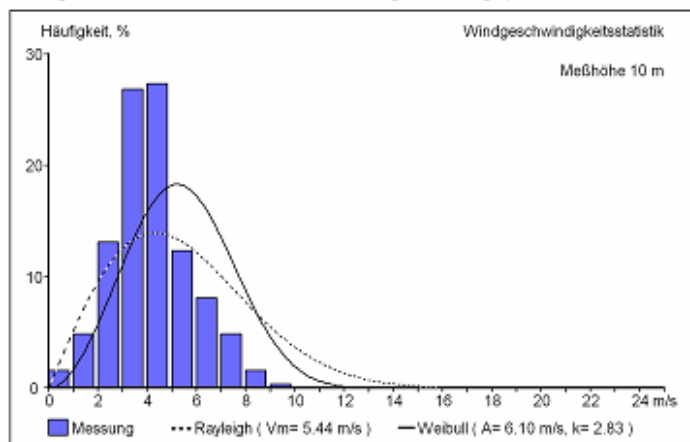
2. Irodalmi áttekintés

A széladatok kiértékelésekor több adatsort használhatunk, az adatok lehetnek napi, (8.4.1. melléklet) havi vagy éves bontásban. Az átlag szélességek alapján meghatározzuk a fajlagos szélteljesítményt és végül egy adott szélmotor éves energiatermelését. A szélmerést egy NRG adatgyűjtő rendszer végezte és a havi átlag szélesség értékeit is meghatározta. A mérések a Fekete-tenger mellett levő Agigean készültek 10, 20 és 30 m magasságban. A 2.9. ábra a szélesség napi változását szemlélteti az előbbi helyszínről (sárga 10 m, kék 20 m, piros 30 m). A mérések 2006 március 31-én készültek.



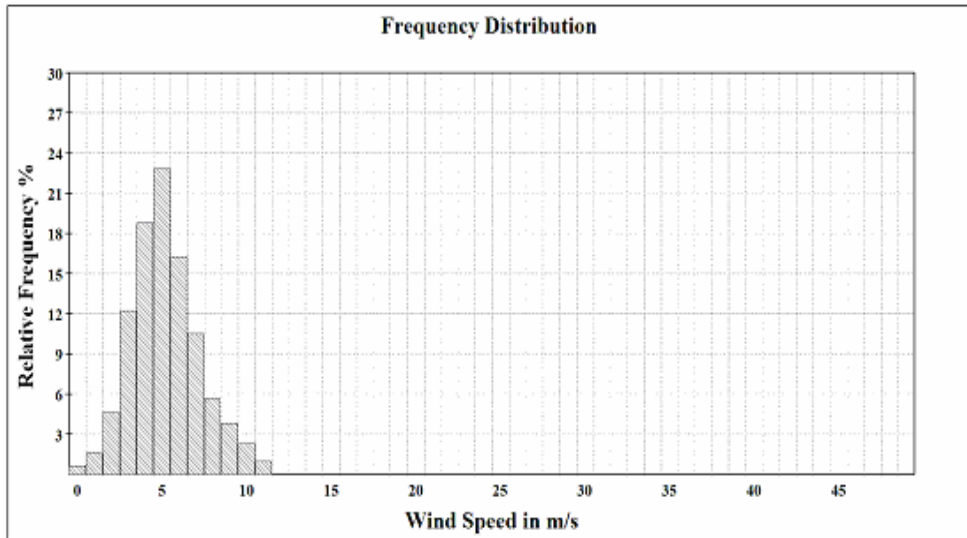
2.9. ábra. Napi szélesség változása (forrás: saját mérés)

A gyakorlatban alkalmazott szélességmérő rendszerek általában az adatfeldolgozást is elvégzik és táblázatban, vagy grafikus formában szemléltetik az eredményeket. A 2.10. ábra az Agigean 2006 szeptemberében mért szélesség adatok alapján kapott szélesség-eloszlást mutatja. A kiértékelést az Alwin programmal végeztem.



2.10. ábra. Szélesség-eloszlás 10 méteres szélesség adatok alapján

A mérések az NRG adatgyűjtővel készültek. A mért adatok kiértékelése saját szoftver alapján a 2.11. ábrán látható.



2.11. ábra. Szélsebességeloszlás 10 méteres magasságban az NRG mérőrendszer adatai alapján (2006 szeptember)

Ismerve az eloszlás adatait és felhasználva a két paraméter, a k és C értékeit módosítva a (2.3) egyenletet megkapjuk a szélsebességek időbeni eloszlását(8.4.2 melléklet):

$$f(v) = 8760 \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2.32)$$

Amint látható, a mérési adatok egy adott helyszínről megadják az átlag szélsebesség értékét, napi, havi és éves bontásban. Az eloszlásfüggvény meghatározza a Weibull eloszlás paramétereit és az átlag szélsebesség értékét, ha $k=2$. Az előbbi egyenlet alkalmazásával a 2.10. ábrán megadott adatok alapján a szélsebesség-eloszlás meghatározható.(Gipe, 2004, Asok, 2007)

2.6. Kisteljesítményű szélgenerátorok energetikai jellemzése

A szigetüzemű rendszerek esetében energiatermelésre kisteljesítményű szélgenerátorokat alkalmaznak, melyek névleges teljesítménye 200 W – 10 kW tartományban található. Jellegzetes tulajdonságuk, hogy az indulási sebességük 2-3 m/s szélsebességtartományra becsülhető. Az átlagos teljesítményt az alábbi összefüggéssel határozzuk meg (Akela et all 2007 ,bergey.com, Bagul, 1996):

$$P = \frac{1}{2} \rho c_p A v^3 10^{-3} [kW] \quad (2.33)$$

ahol:

c_p a teljesítménytényező, értéke 0,3 [8],

A a rotor felülete ,

ρ a levegő sűrűsége,

v a szélesség értéke (2.5-17.5 m/s) tartományban.

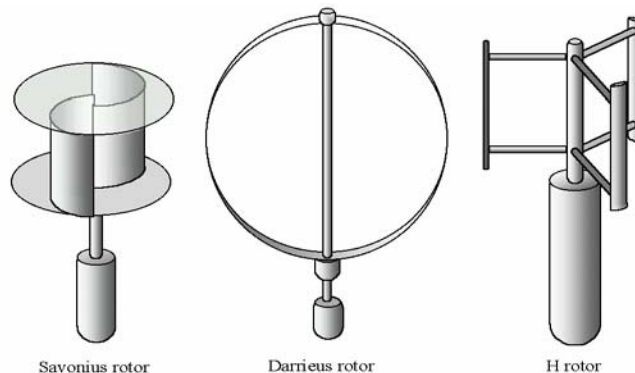
Az adott szélesség tartományhoz tartozó szélgenerátor energiatermelése pedig:

$$Q = Pt = \frac{1}{2} \rho c_p A v^3 10^{-3} t [kWh] \quad (2.34)$$

ahol a t , az adott időintervallum, (órában).

A szakirodalom e témakört kevésbé tárgyalja, mivel a piacot inkább a nagyteljesítményű szélgenerátorok uralják. A hibrid szél-napenergiás szigetüzemek esetében egy adott helyszín adatai alapján több módszert alkalmazhatunk a szélgenerátor által termelt elektromos energia becslésére. A legkézenfekvőbb módszer az előre meghatározott nomogramok alkalmazása, amely segítségével meghatározhatjuk egy adott éves átlag szélesség értékre (m/s, vagy mp/h) a szélgenerátor éves energiatermelését. A kapott értéket megszorozzuk a rotor felülettel. Egy ilyen diagram a 8.4. 5. mellékletben látható.

A rotor felület változik a szélerőgépek típusa szerint. A leggyakrabban alkalmazott rotor típusok felületét a 2.12. ábra szemlélteti.



2.12. ábra. Szélgépek rotorfelülete

A felület értékét különböző rotor típusoknál az alábbi egyenletekkel határozzuk meg:

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi R^2 \\ A_{Hrotor} &= DH \\ A_{Darius} &= 0.65DH \end{aligned} \quad (2.35)$$

2. Irodalmi áttekintés

Például egy Bergey XL 1 típusú háromlapátos szélgépet, melynek átmérője $d=2.5$ m, felülete $A=4.9$ m², $v=5$ m/s éves átlag-szélsebességnél az éves energiatermelés a következő [8]:

$$AOE = 0.6125v^3 EPF \cdot A \cdot \eta \cdot 8760 / 1000, [kWh / \acute{e}v]$$

$$AOE = 0.6125(5.4)^3 1.91(4.9)(0.2)(8760) / 1000 = 1581 [kWh / \acute{e}v] \quad (2.36)$$

ahol a következő jelöléseket használtam:

AOE a szélgenerátor éves energiatermelése, (kWh/év)

v az átlag éves szélsebesség

EPF a Golding féle tényező

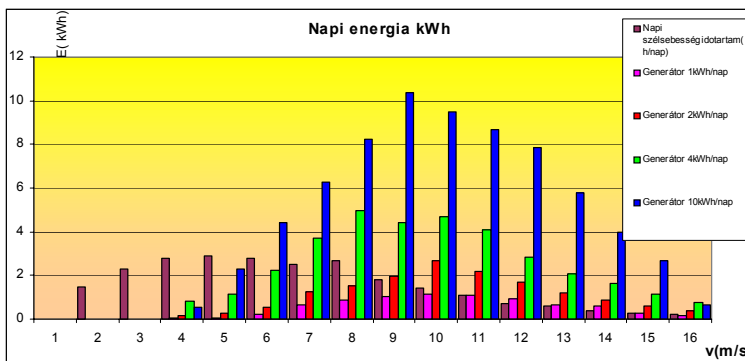
η a hatásfok

A 2.7. táblázat alapján meghatározható egy adott szélgenerátor éves energiatermelése az adott szélsebesség tartományban.

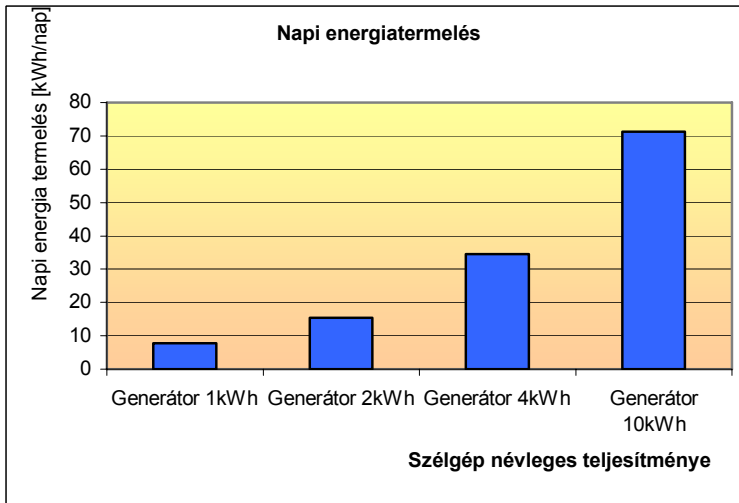
2.7. táblázat. Kis szélgépek (200 W-10 kW) energiatermelése

Éves átlag szélsebesség, (m/s)	Névleges széltejesítmény, (W/m ²)	Éves névleges szélenergia potenciál, (kWh/m ²)	Teljes átviteli hatásfok, kis szélgépek esetében	Termelt éves energia, (kWh/m ² , év), kis szélgépek esetében	Teljes átviteli hatásfok, közepkategóriás szélgépek esetében	Termelt éves energia, (kWh/m ² , év), közepes szélgépek esetében
4	75	656	0,2	131	0,36	236,1
5	146	1281	0,2	256	0,35	448,4
6	253	2214	0,19	421	0,33	730,5
7	401	3515	0,16	562	0,29	1019,4
8	599	5247	0,15	787	0,26	1364,2
9	853	7471	0,14	1046	0,23	1718,3
10	1170	10248	0,14	1435	0,22	2254,6
11	1557	13640	0,14	1910	0,22	3000,9

A szakirodalom több névleges teljesítményű szélgép napi energiatermelését ismerteti. Papadakis egy adott helyszínre a 2.13 és 2.14. ábrák szerinti adatokat határozta meg (Papadakis 1996).

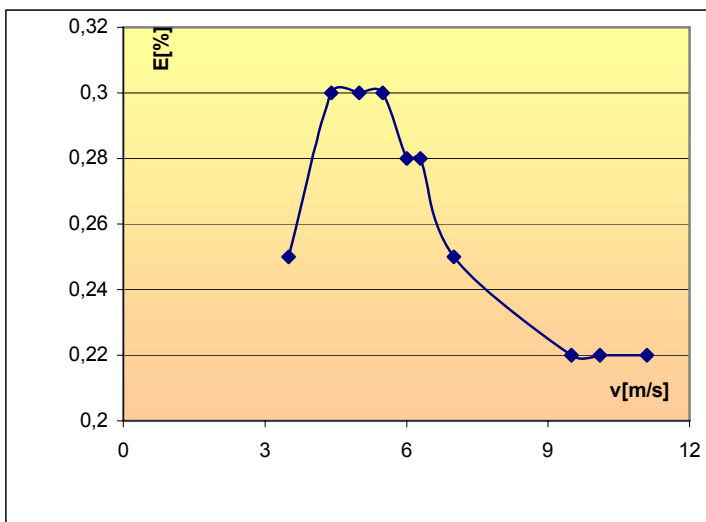


2.13. ábra Szélgenerátorok napi energiatermelése



2.14. ábra Kisteljesítményű szélgépek napi összenergia termelése

A gyakorlatban a szélgép energiatermelése meghatározható ismerve a rendszer hatásfokát. Általában a mérések azt igazolják, hogy a hatásfok értéke kisebb, mint 30 %. A hatásfok értékét kísérleti úton határozták meg, pl. a texasi Bushland kísérleti telepen a Bergey 1500 szélgenerátor gyakorlati hatásfoka 23%. A 2.15. ábra egy kisteljesítményű szélgép hatásfok értékeinek változását szemlélteti a szélesebbesség függvényében.



2.15. ábra Szélgép hatásfok függése a szélesebbesgtől

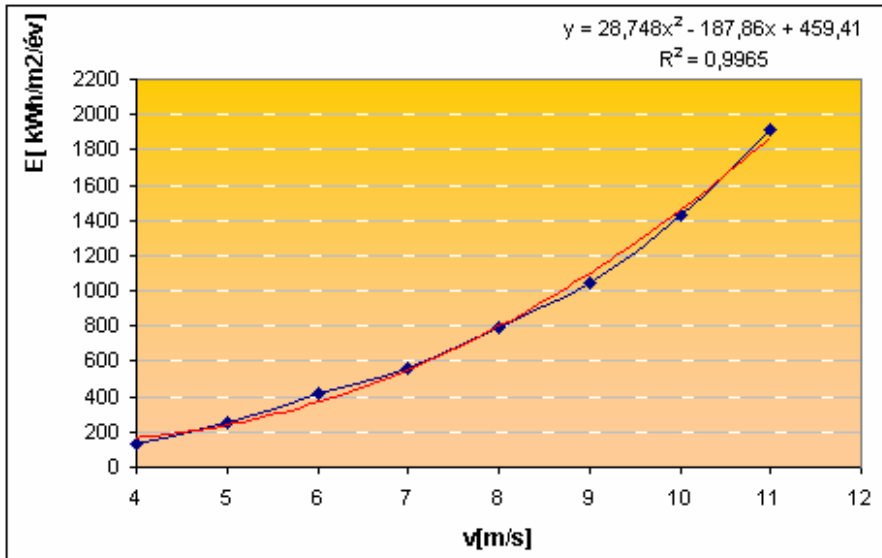
A 2.15. ábra alapján a kisteljesítményű szélgépek hatásfoktényezője 20- 30% közötti érték. Ez általában egy adott szélesebbesgtértekig növekszik, majd a fellépő

súrlódási erők következtében csökkenő tendenciájú. A szélgenerátor hatásfokfüggvényét az alábbiak szerint írhatjuk fel (Patay 2001, Predescu, 2005):

$$\eta(v) = \frac{2P_n(v - v_i)}{A\rho_l(v_{\max} - v_i)v^3} \quad (2.37)$$

ahol, P_n -a szélgenerátor névleges teljesítménye, v_i -az indulási szélesség, v_{\max} - a szélesség maximum értéke, A a rotor felülete, ρ_l - a levegő sűrűsége, η - a szelerőmű hatásfoka. A fenti összefüggésből kitűnik, hogy a szelerőmű hatásfoka az adott viszonyok között függ a helyszín szélességétől.

Egy adott szélesség értékre - felhasználva a 2.35 összefüggést -, ismerve a rotor felületét, meghatározhatjuk a szélgenerátor éves energiatermelését. Ez kézenfekvő módszernek tekinthető, mivel 5- 10 % -os pontossággal meghatározza az energiatermelést. Ha vannak méréseink egy adott helyszínről, átlag szélesség értékek havi, napi illetve éves bontásban, egy adott szélgenerátor energiatermelése meghatározható diagram segítségével is (2. 16. ábra). Ebben az esetben a leolvasott értéket a rotorfelülettel szorozva adódik az éves energiatermelés.



2.16. ábra Egységnyi rotorfelületű kisteljesítményű szélgenerátor éves energiatermelése

A 2.16. ábra alapján, ha az átlag szélesség 5 m/s, a leolvasott energia értéke 260 kWh/m²/év. Ismerve a szélgép rotorfelületét, amely 4.9 m² a termelt energia értéke:

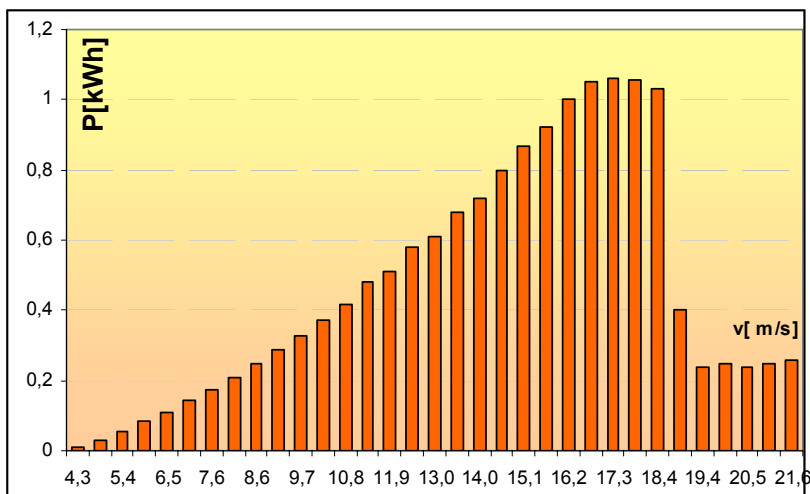
$$AOE = A_{rot} \frac{P}{A} = 4.9 * 260 = 1274 [kWh / év] \quad (2.38)$$

A közepkategóriás szélgépek hatásfoka jóval magasabb, általában a kisteljesítményű gépek hatásfokának duplája. Néhány szélgép hatásfoka a 8.4.6.

2. Irodalmi áttekintés

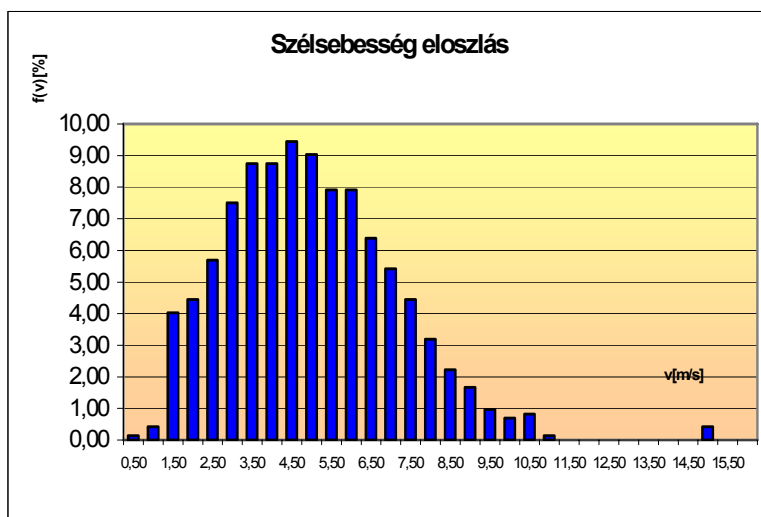
mellékletben látható. Mivel ezek inkább decentralizált hálózatok alkotóelemei, ezért részletesebben nem tárgyalom.

Egy gyakran alkalmazott módszer a szélgep energiámérlegének a meghatározására a gyártó által megadott leadott teljesítmény és szélesebesség görbének az alkalmazása, figyelembe véve a helyszínen mérhető szélesebesség időbeli eloszlását. Például az XL 1 típusú szélgep teljesítmény-jelleggörbéje a 2.17. ábrán látható.



2.17. ábra XL 1 Szélgenerátor teljesítmény-szélesebesség jelleggörbéje (Gipe)

Ismerve az adott helyszín szélesebesség-eloszlását meghatározhatjuk az adott eloszlásnak megfelelő energia értékét. A kapott eredmény kWh /időintervallumban jelenik meg (2.18. ábra).



2.18. ábra Havi termelt szélenergia-eloszlás (2006 április, Agigea, saját mérési adat)

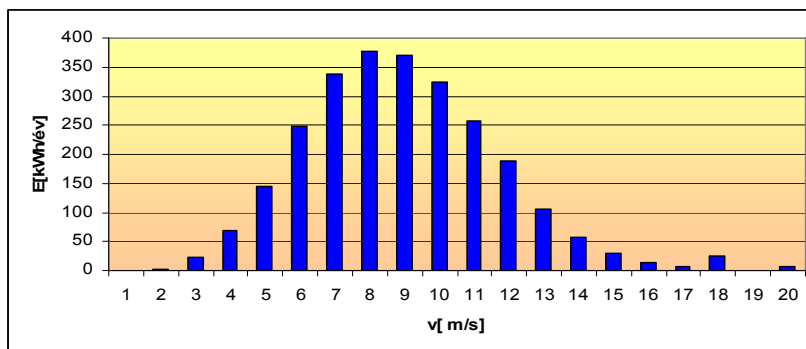
2. Irodalmi áttekintés

A fenti módszer alapján Gipe, meghatározta egy 1000W névleges teljesítményű szélgenerátor éves energiatermelését. Ismert a szél gép teljesítménygörbéje és a szélesség Weibull-eloszlása, az adatokat a 2.8. táblázat tartalmazza.

2.8. táblázat A szélgenerátorra vonatkozó adatok

Szélesség v [m/s]	B XL1 teljesítménye P [kW]	Weibull eloszlás- gyakoriság $f(v)$ [%]	Időbeli eloszlás, gyakoriság [óra/év]	Termelt szélenergia, P [kWh/év]
1	0	0,0498	436,2	0,0
2	0,002	0,0849	743,7	1,5
3	0,022	0,1186	1038,9	22,9
4	0,06	0,133	1165,1	69,9
5	0,125	0,1331	1166,0	145,7
6	0,23	0,1238	1084,5	249,4
7	0,375	0,1031	903,2	338,7
8	0,53	0,0814	713,1	377,9
9	0,7	0,0602	527,4	369,1
10	0,88	0,0419	367,0	323,0
11	1,07	0,0275	240,9	257,8
12	1,2	0,018	157,7	189,2
13	1,23	0,0099	86,7	106,7
14	1,2	0,0055	48,2	57,8
15	1,15	0,0029	25,4	29,2
16	1,095	0,0014	12,3	13,4
17	1,04	0,0007	6,1	6,4
18	0,99	0,003	26,3	26,0
19	0,94	0,0001	0,9	0,8
20	0,89	0,001	8,8	7,8
Össz		0,9998	8758,2	2593,3

A 2.19. ábra a termelt energia szélesség szerinti eloszlását szemlélteti, mint látható a maximum a 7-8 m/s szélesség tartományban érhető el. Az előbbi érték nem jellemző a Közép-Európai, szárazföldi átlagos éves szélesség viszonyokra. Ezt az Sulinai mérések éves átlagszélesség értékei közelítik meg.



2. 19. ábra B. XL 1 szélgenerátor éves energiatermelése

Összefoglalva, a szakirodalom elemzés alapján a szélenergia alkalmazásáról a szigetüzemű rendszerek keretében megállapítható, hogy a feltételezett romániai szélviszonyok között, adott helyszínen elektromos energiatermelésre alkalmazhatók a leírt szélerőmű-típusok. Az alkalmazható szélgenerátorok hatásfoka az átlagos szélesebesség-tartományban eléri a 30%-ot, ami jóval alacsonyabb a Betz-féle teljesítménytényező határánál, de mint ismeretes a jelenség általános, jellemző a kisteljesítményű szélerőmű típusokra. Ami jellegzetes az az, hogy az indulási sebességük alacsony, 2-3 m/s érték körüli. Ennek következtében a szélgépek időbeni kihasználtsága eléri az üzemidő részarány 60-70%-át. A várható üzemóra 5000-6000 körüli. Azonban a mérsékelt szélviszonyok miatt a teljesítmény-kihasználás gyenge. Ha figyelembe vesszük, hogy egy kis szélgép a névleges teljesítményét általában magas névleges teljesítményhez tartozó szélesebesség értéknél éri el, látható, hogy a termelt villamos energia értéke alacsony. Egy szigetüzemű rendszer kertében a tervezés fontos feladata a szélerőgép kiválasztása és a tárolókapacitás meghatározása. A szélerőgép névleges teljesítményét a szakirodalom az alábbi összefüggéssel határozza meg (Patay 2003):

$$P_n = \frac{v_n}{v_a} (P_b + P_v) = \frac{v_n}{v_a} \left(P_v + \sum_{i=1}^n P_i \right) \quad (2.39)$$

ahol: v_n a névleges teljesítményhez tartozó szélesebesség [m s^{-1}],
 v_a a helyszínre jellemző átlagos szélesebesség [m s^{-1}],
 P_v a hálózat veszteség-teljesítménye, [W], ennek értéke a beépített teljesítmény 5-20% közötti tartományába becsülhető,
 P_b beépített teljesítmény, a fogyasztók összes névleges teljesítménye,
 P_n a szélgép névleges teljesítménye [W].

A tárolókapacitást az alábbi összefüggés felhasználásával határozhatjuk meg:

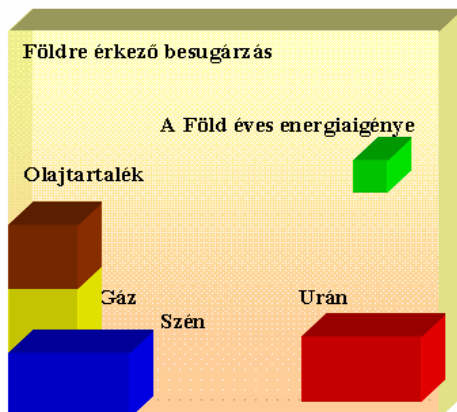
$$C_b = N \sum_{i=1}^n n_i \frac{P_i}{U_n} \quad (2.40)$$

ahol: C_b a tárolókapacitás értéke, Ah-ban,
 N a tartaléknapok száma, amely 5- 10 nap körüli érték,
 P_i/U_i , az i -edik fogyasztó áramfelvétele, [A].

Az energiaellátás biztonsága a tartaléknapok helyes megválasztásán múlik, kis tárolókapacitás esetében időszakonként ellátási problémák jelenkezhetnek. A gyakorlat azt igazolja, hogy a szolgáltatók a tárolókapacitás minimum értékét szokták ajánlani a felhasználónak, mivel jelentős a költségmegtakarítás. A DC fogyasztók alkalmazása a keletkező nagy veszteségek miatt korlátozott, ezt kompenzálhatjuk nagyobb átmérőjű vezetékek alkalmazásával, továbbá a fogyasztó hálózat és az akkumulátor telep közé DC/AC inverter beépítésével (Hasimoto, 2005, Dalton 2008, Love et all 2001).

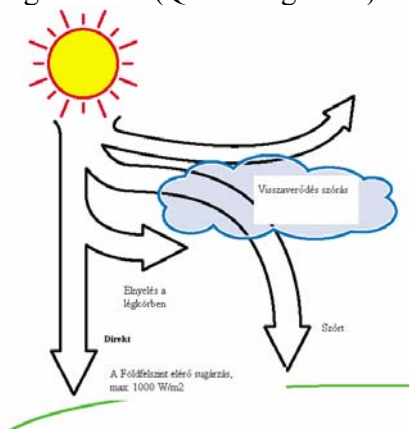
2.7. Napenergiás fotovillamos rendszerek elemzése

A Nap sugárzó teljesítményének a Földet elérő része megközelítőleg $173 \cdot 10^{12}$ kW, ami több ezerszeresen meghaladja a jelenlegi energiaigényt. A mérések azt igazolják, hogy a napenergia képes lesz a növekvő energiaigény kielégítésére. A 2.20. ábra a Föld energiamérlegét szemlélteti, ún. Energiakocka néven ismert a szakirodalomban, ahol láthatók a készlet jellegű energiaforrások, az energiaigény és a Nap által termelt energia aránya (Quasching 2006).



2.20. ábra A Földre érkező besugárzás és a létező energiaforrások aránya

A világűrből érkező sugárzás és a világűrbe távozó hő normál körülmények között egyensúlyban van (2. 21. ábra). A földi étellel és az emberi tevékenységgel járó csekély hőáramok (technikai hőfejlesztés és a növények által hasznosított hő) azok, amelyekkel az egyensúlyt, sajnos rossz irányban befolyásolják. Ez történik jelenleg: a technológiai széndioxid-termelés határozottan befolyásolja a légkör sugárzás-átbocsátó képességét. A kényes egyensúly felbillent, a Földön többelhető marad, megjelenik az üvegházhatás (Quasching 2006).



2.21. ábra A napsugárzás komponensei (forrás: Atlas of the Solar System)

A 2. 21 ábra alapján, a föld felszínére érkező teljes sugárzás értéke körülbelül 47 %, a többi a légkör felső rétegeiben visszaverődik, illetve elnyelődik.

Nagyon sok és egyre szigorúbb mérést végeztek az úgynevezett napállandó meghatározására. A napállandó az a számérték, amely megadja, hogy átlagos Föld-Nap távolságban, a légkör felső határán, a sugárzás haladási irányára merőleges egységnyi felületre időegység alatt mennyi energia esik. Ma elfogadott átlagos értéke 1353 W/m^2 . A napsugárzás intenzitása a légkörön való áthaladáskor csökken: a légkör alkotórészei részben elnyelik, részben visszaverik és megtörik a sugárzást. A légkör határáig párhuzamosnak tekinthető sugárnyalábok egy része a légkörben szórt (diffúz) sugárzássá alakul.

A napenergia-hasznosító berendezéseknél általában a légkörön áthaladó közvetlen sugárzás és a szórt sugárzás összegével, a teljes sugárzással számolnak.

A 2.9. táblázat a vízszintes felületre érkező teljes (globális) és diffúz napsugárzás havi értékeit tartalmazza, néhány romániai városra.

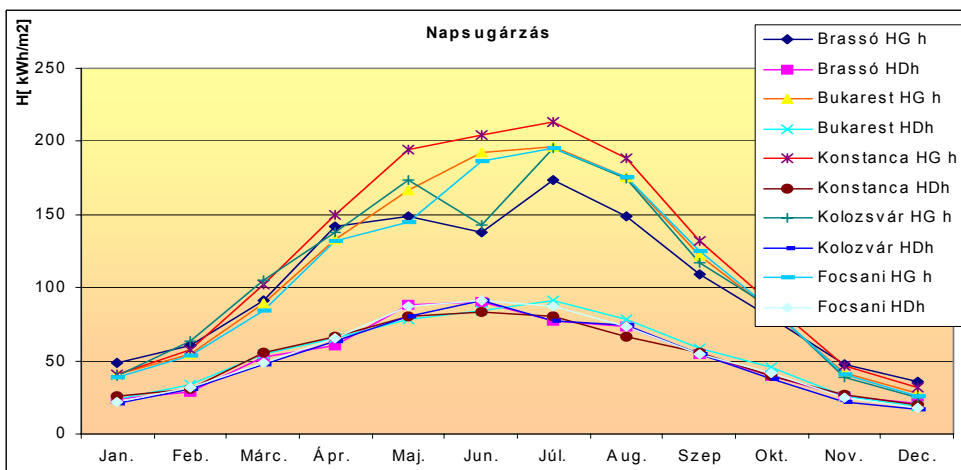
2. 9. táblázat Vízszintes felületre érkező teljes (globális) és diffúz napsugárzás

Hónap	Brassó [kWh/m ²]		Bukarest [kWh/m ²]		Konstanca/ [kWh/m ²]	
	HGh	HDh	HGh	HDh	HGh	HDh
Jan.	49	24	41	24	41	26
Feb.	61	29	55	34	58	31
Márc.	91	53	89	55	102	56
Ápr.	142	61	133	65	150	66
Máj.	149	88	167	78	194	80
Jún.	138	90	192	84	204	83
Júl.	174	77	196	91	213	80
Aug.	149	73	176	78	188	66
Szept.	109	55	122	59	132	56
Okt.	79	40	84	46	89	40
Nov.	48	26	42	26	47	27
Dec.	36	21	28	19	32	20
Össz.	1225	637	1325	659	1450	631

Ábrázolva az teljes és a diffúz napsugárzás havi adatait, amelyek a vízszintes felületen mért napsugárzás intenzitás értékei alapján számított 1 m^2 felületre eső átlagos napi értékből kapott havi besugárzás értékek, adódik a 2. 22. ábra. Látható, hogy a Románia déli részén fekvő városok jelentős nap-energiapotenciállal rendelkeznek. A tengerparti városok napenergia-potenciálja 15-20%-kal magasabb, mint a hegyvidéken fekvő településeké. A diffúz sugárzás értéke az adatok alapján hasonló nagyságrendű, amit az időjárás alakulása is igazol és a gyakori felhősödésre utal.

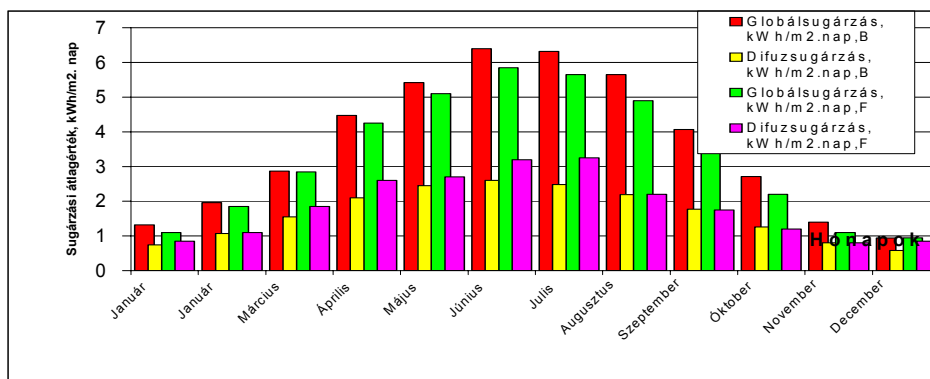
2. Irodalmi áttekintés

Mint ismeretes, a nagyvárosok környékén mért magas homályossági tényező is hozzájárul a besugárzási értékek csökkenéséhez.



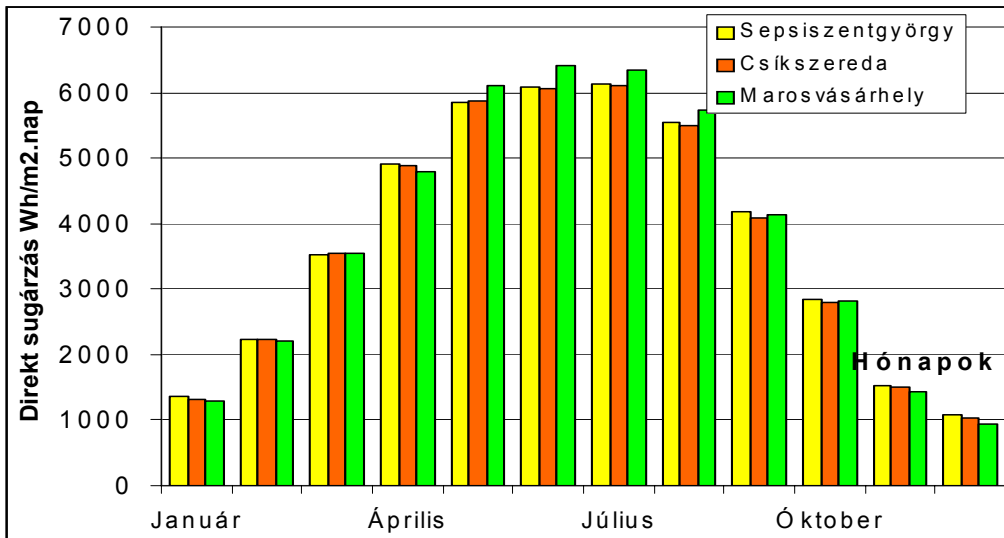
2.22. ábra Romániai városokra vonatkozó napsugárzási adatok (forrás: Climat Generator, Sandia SOLAR)

Általában a napsugárzási adatokat különböző adatbázisok tartalmazzák, az adatok több éves megfigyelések átlagai. Ilyen adatbázis a METEONORM adattár, amely alapján megszerkesztettem a bukaresti napsugárzási energia változását. Összehasonlításként a 2.23. ábra az 1 m^2 felületre a Naptól beérkező sugárzási energia átlagait mutatja a bukaresti(B) és a freiburgi(F) adatok szerint (forrás: Meteonorm 97).



2. 23. Napi sugárzási energia (forrás: Meteonorm 97)

Az ábra alapján, a két adatsor nem nagyon eltérő, de szembetűnő a szórt sugárzás értékeiben a különbség, amely a homályossági tényező (k_t) változásnak a következménye. Ez a változás a környezeti szennyeződéseknek a növekedésével magyarázható. Közép-Erdélyre vonatkozó átlagos adatokat a 2.24. ábra tartalmaz.



2.24. ábra Székelyföldi városok napsugárzási adatai

Az eddig elmondottak ideális, tiszta légkörre vonatkoznak. A valódi légkörben a természetes és civilizációs szennyeződés miatt a direkt sugárzás tovább csökken. A légkör sugárzáscsökkentő tulajdonságát a homályossági tényezővel jellemzik, amely megadja, hogy a légkör a sugárzás mekkora részét engedi át.

A homályossági tényező tapasztalati, tájékoztató értékei a következők:

- Zavartalan természet, tenger: 0,6-0,7,
- Mezőgazdasági terület, falu: 0,4-0,5,
- Kis- és közepes város: 0,3-0,4,
- Ipari környezet, nagyváros: 0,2-0,3.

Sajnos a homályossági tényező egyre romlik. Ennek megelőzése a továbbiakban a tiszta energiát termelő rendszerek üzemeltetésével és az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának a csökkentésével érhető el.

A 2.24. ábrán látható adatsor három székelyföldi város napsugárzási adatait hasonlítja össze.

A földrajzi szélességi és hosszúsági koordináták:

Sepsiszentgyörgy (45°50'57'', 25°49'56),

Csíkszereda (46°20'54'' 25°50'5''),

Marosvásárhely (46°32'34'' 24°35'33''),

(az IAMESET Joint Center műholdas mérési adatai), 8.8 melléklet

2.7.1. A Napgeometria elemei

A napenergiát hasznosító rendszerek tervezésében egyre gyakrabban alkalmaznak olyan modelleket és szimulációs programokat, amelyek elősegítik az optimális rendszer kialakítását és a rendszer működésének időbeli előrejelzését. Mindezek jól kidolgozott és kipróbált matematikai modellekre épülnek. A modellek elemzése előtt célszerű áttekinteni a napgeometria fontosabb elemeit és az ennek megfelelő megfogalmazásokat, alapfogalmakat (Farkas 2003, Barótfy 1993, Sukamongkol, 2002).

Direkt sugárzás a Naptól érkező sugárzás, amely a légkörön egyenesen áthalad.

Szórt, diffúz sugárzás, amely iránya a légkör hatására megváltozik.

Teljes napsugárzás a direkt és a szórt sugárzás összege.

Sugárzás, besugárzott felületi teljesítmény: egységnyi felületre beeső sugárzás teljesítménye (W/m^2).

Sugárzás, besugározottság, amely egységnyi felületre érkező energia, időegység alatt érkező sugárzás integrálja, általában órára vagy napra, J/m^2 értékben van kifejezve.

Napfénybesugárzás egységnyi felületre érkező energia, időegység alatt érkező sugárzás integrálja. Jelölése H , ha egy óras intervallumot takar és I , ha napos sugárzásra vonatkozik. A földfelszínre jutó sugárzásmennyiség elsősorban a Nap és Föld egymáshoz viszonyított geometriai helyzetétől, a napsugarak beesési szögétől és a napsütéses órák számától függ. Ezek meghatározásával a napgeometria foglalkozik.

Földrajzi szélesség (Φ), amely az adott hely Egyenlítővel való szögtávolsága az északi féltekén pozitív, míg a délin negatív.

Deklináció, (δ) a Nap szöghelyzete az egyenlítő síkjához viszonyítva. A Föld a Nap körül ellipszis pályán kering, miközben a Föld is forog a saját tengelye körül. A földpálya síkja és az Egyenlítő által meghatározott sík egymással szöget zár be, vagyis a Föld forgásának tengelye szöget zár be a földpálya síkjára állított merőlegessel. Értéke a napközeli és naptávvoli pontokban 23.5° . A tavaszi és őszi napéjegyenlőség idején zérus. A deklinációs szög számítása az ún. Cooper formula alapján történik (Farkas 2003).

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(d_n + 284)\right), \quad (2.41)$$

ahol a d_n az év napjainak a sorszáma a Julián naptár szerint január 1-től december 31-ig.

A Nap égi helyzete és a Föld koordinátái közötti trigonometriai összefüggések meghatározásához olyan Nap - Föld modellt alkalmaznak, amelyben a Föld van a középpontban. A Földön tartózkodó megfigyelő helyzetét a 0 pont jelzi, 2.25. ábra.

Óraszög, ω a Nap szögelmozdulása keletre vagy nyugatra a lokális délkörtől. Az óraszög definíciója alapján déli 12 órakor 0 és óránként 15° -ot változik. Értéke délelőtt negatív míg délután pozitív. A napkelte óraszöge ω_s - feltételezve, hogy napkeltekor a zenit szög 90° -, az alábbi képlet alapján számítható:

$$\cos \varpi_s = -\frac{\sin \Phi \sin \delta}{\cos \Phi \cos \delta} \quad (2.42)$$

$$\varpi_s = \cos^{-1}(-\tan \Phi \tan \delta)$$

ahol Φ , a földrajzi szélesség
 δ , a deklinációs szög

A nappal hossza (N_d), meghatározható a napkelte óraszögéből, mivel a delelésig ugyanannyi idő telik el, mint a napnyugtáig, így a nappal hossza $2 \omega_s$. Ha ezt az értéket elosztuk 15 fokkal megkapjuk a nappal hosszát órában, vagyis:

$$N_d = \frac{2}{15} \omega_s \quad (2.43)$$

A zenit szög θ_z a függőleges és a Naphoz húzott egyenes által bezárt szög, vagyis a vízszintes felületre érkező sugárzás beesési szöge. Adott időben a megfigyelőnek a Földön meghatározható a pozíciója, ezt nevezik a megfigyelő zenitjének. Ez a pont metszéspontja a megfigyelő helye földfelszíni normálisának és az égi mezőnek. A megfigyelő horizontja egy nagy kör, egy olyan sík, amely átmegy a Föld középpontján, és amelynek határát a zenit és a Föld normálisának a metszövonalá jelenti. A zenit szög θ_z az a szög, amely a lokális zenit valamint a Nap és a megfigyelő által meghatározott egyenes egymással bezár. Ezen szög értéke 0 és 90 fok között változhat. Napmagasság szöge (α), a Napnak szögben kifejezett magassága a megfigyelő horizontjából, vagyis a vízszintes és a Naphoz húzott egyenes által bezárt szög értéke, 0 és 90 fok között található és komplementere a zenit szögnek, tehát $\alpha = 90^\circ - \theta_z$. Nap azimut szöge (γ_s), vízszintes síkon a napsugár vetületének a szögelmozdulása, délről keletre negatív, míg délről nyugatra pozitív. A gömbháromszögtan alapján a koszinusz tétel segítségével a következő összefüggés írható fel a Nap és a horizontális felszín között:

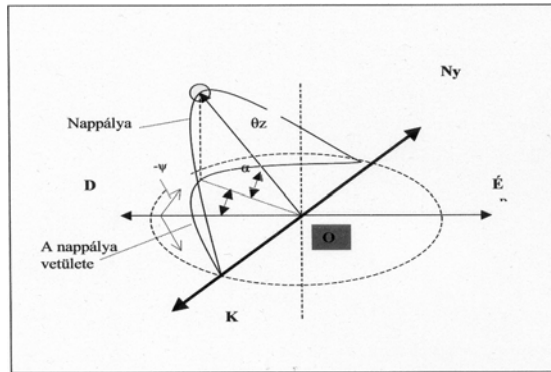
$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos \omega = \sin \alpha$$

ahol a θ_z zenit szög, δ , a deklináció, Φ pedig a földrajzi szélesség.
 A Nap azimut szöge az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\cos \alpha_s = \frac{\sin \delta \sin \Phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \varpi} \quad (2.44)$$

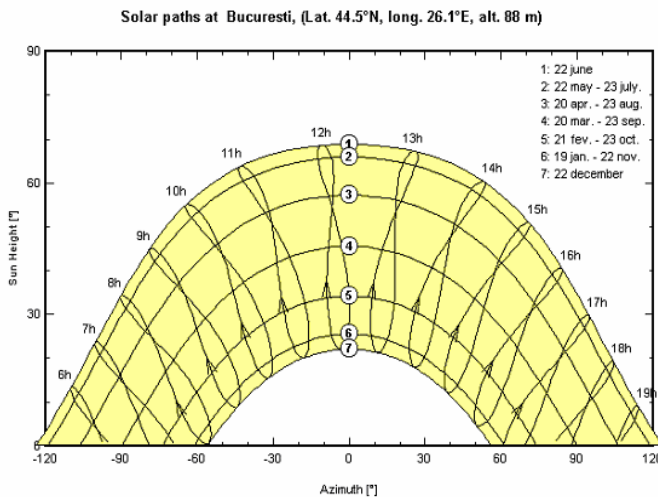
$$\sin \alpha_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}$$

A fenti összefüggések geometriai értelmezését a 2.25. ábra szemlélteti.



2.25. ábra A napgeometria helyzetével kapcsolatos szögek

A Nap járását az égbolton a napdiagram ábrázolja, amely az év napjainak függvényében mutatja a napmagasság és az azimut értékét. A diagramok a szolártechnikában a benapozás meghatározására és az árnyékviszonyok megállapítására alkalmasak. Ennek a szerepe az árnyékviszonyok meghatározása, mivel a fotovillamos rendszerek esetében a rossz tájolás nemcsak a rendszer hatásfokát befolyásolja, hanem a műszaki paramétereinek a változásához is vezethet. A tájoláskor ún. napsugárkijelzőt használnak, ami segítségével elemzik a helyszínen az árnyékviszonyokat.



2.26. ábra Egy helyszínre vonatkozó nappálya diagram (forrás: PV SIST)

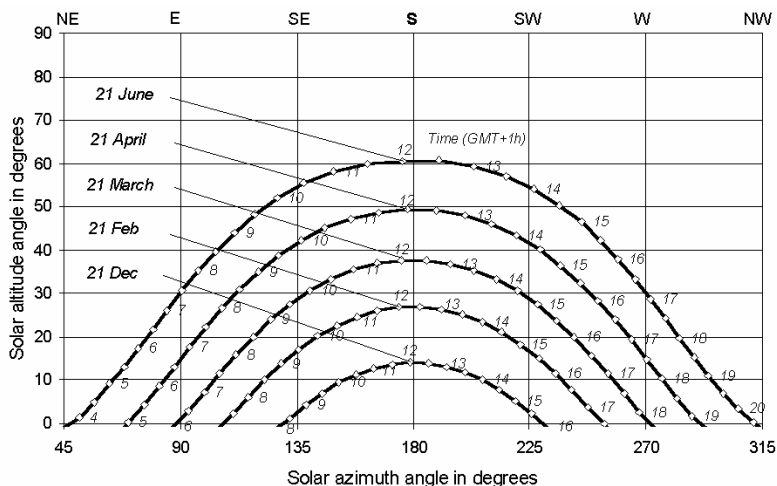
A nappálya diagramok az adott helyszínre jellegzetesek. Mivel a Nap helyzete változó, a Föld északi illetve déli féltékjén a diagram alakra is különbözik. A déli

2. Irodalmi áttekintés

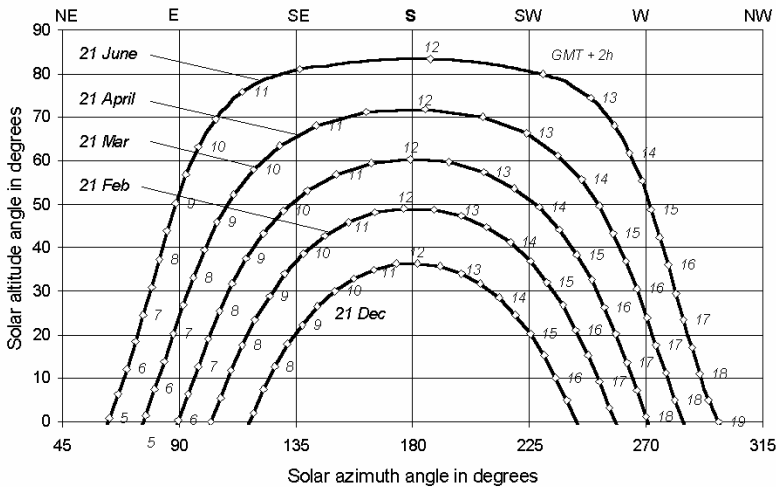
féltekére jellemző a magas napmagasság szög értéke, míg az északi féltekére ez jóval alacsonyabb. Az adott diagram a nappályát ábrázolja az év első öt hónapjára. A második féltévre a diagramok kissé eltérnek, de formára azonosak az előbbivel. A nappályá diagramok elkészítésére több algoritmus is létezik, ezek közül a szakirodalom a SUANE és a NREL SOLPOS algoritmusokat említi meg. Ezek sokkal bonyolultabb napgeometriai összefüggéseket használnak (Quasching 2006). A 2.27. ábra egy nappályá diagram elemző műszert ábrázol. Használata elkerülhetetlen a PV rendszerek telepítésekor. A 2.28. ábra berlini, a 2.29. ábra pedig Kairói helyszínre készített nappályákat szemléltet.



2.27. ábra PV rendszerek telepítésekor használt nappályá diagram elemző



2.28. ábra Nappályá diagram (Berlin)



2.29. ábra Nappálya diagram (Kairó)

Az ábrák segítségével megszerkeszthetők a nappálya diagramok az adott helyszínre, felhasználva a földrajzi koordinátákat. A nappálya diagramok segítségével elvégezhetjük a környezet elemzését a PV rendszerek telepítése előtt.

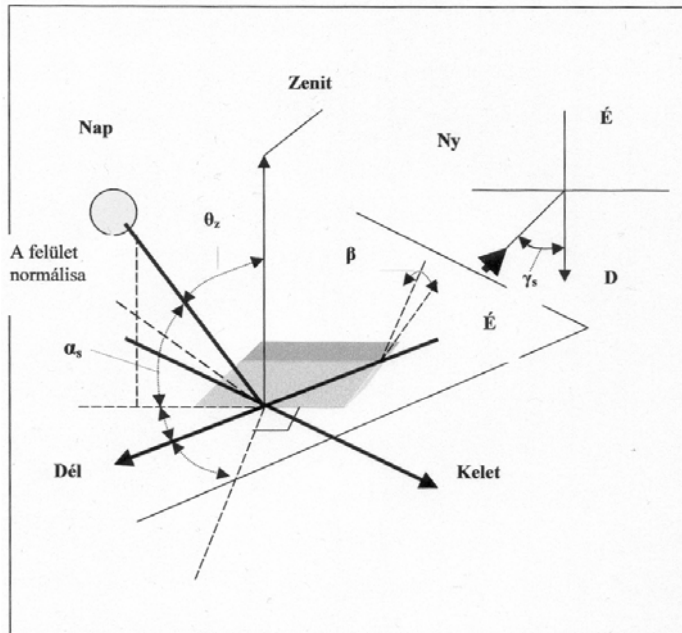
2.7.2. Napsugárzási modellek

Az előző alfejezet összefüggései segítségével meghatározható egy vízszintes felületre adott napon és helyszínen a beérkező sugárzó energia nagysága elhanyagolva légkör szóró hatását. A napsugárzás hasznosítás hatásfoka nagyrészt az elnyelő felület helyzetétől függ. Az elnyelő felület helyzetét a következő szögekkel jellemezhetjük (Barótfi 2002, Duffie et al, 1980, Dorvlo et al 2002):
 Délszög (β), az adott felszín vízszintessel bezárt szöge, értéke 0-180° között változik.

Felszín azimutiszög γ : vízszintes felületen eltérés a felület normálisának a vetülete és a helyi délkör között, vagyis az a szög, amit a megfigyelő délkörének a síkja és a Nap valamint a zenit találkozási helyének a horizont köré levetített szakasza zár be. Értéke dél irányban 0, kelet irányban negatív, nyugat irányban pozitív.

A beesési szög θ : a felszínre érkező sugárzás és a felszín normális által bezárt szög. A Naptól induló egységnyi keresztmetszetű sugárzás csak akkor világít meg egységnyi felületet, ha az merőleges a sugárzás irányára. Legtöbb energia abban az esetben nyerhető, ha az elnyelőfelület merőleges a beeső napsugárzás irányára, vagyis az elnyelőfelület normálisa párhuzamos a napsugárral. A 2.30. ábra a Nap és a tetszőleges helyzetű felület fontosabb paramétereit ismerteti.

Egy felület normálisa és a napsugár által bezárt szög már közvetlenül felhasználható a sugárzási komponensek számításához.



2.30. ábra. A Nap és egy tetszőleges helyzetű felület kapcsolata

Az eltérés közvetlen mértéke a sugárirány és a felület normálisa közötti θ szög, a felület vízszintessel bezárt szöge, a hasznosító felület délszöge $-\beta$. A fenti ábrán ezek a szögek láthatók. A θ szög egy általános helyzetű felület normálisa és a napsugár által bezárt szög értéke a következő összefüggés alapján fejezhető ki:

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta(\cos(\gamma_s - \gamma)) \quad (2.45)$$

A továbbiakban a dőlt és a vízszintes felületet ért sugárzás és a direktsugárzás aránya az alábbi összefüggés felhasználásával határozható meg:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.46)$$

Bármely időpontban a légkör hatását figyelmen kívül hagyva, meghatározható a vízszintes felületre érkező napsugárzás mennyisége, amely a normál beeső napsugárzás és az R_b aránya és a következő formában fejezhető ki:

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right)\right) \cos\theta_z \quad (2.47)$$

Ez az adott időpontban a napkeltétől napnyugtáig terjedő időintervallumban kifejezhető:

$$G_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right)\right) (\sin\delta \sin\Phi + \cos\delta \cos\Phi \cos\varpi) \quad (2.48)$$

ahol G_{sc} a napállandó és értéke 1353 W/m^2 .

Az egy nap alatt vízszintes felületre érkező sugárzás értéke az előbbi egyenlet integrálja és a következő formában írható fel [3]:

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.0033 \cos \frac{360 \cdot d_n}{365}\right) \cdot \left(\cos \phi \cos \delta \sin \pi_s + \frac{\pi \pi_s}{180} \sin \phi \sin \delta\right) \quad (2.49)$$

Az előbbi összefüggéseket alkalmazva a napgeometria alapelemei könnyen szimulálhatók, modellezhetők. A kutatások kiterjednek a légkör külső rétegeire is és az egységnyi felületre érkező napsugárzás kifejezésére olyan összefüggést alkalmaznak, amely figyelembe veszi a sugárzási fluxus változását a naptári időalap szerint és korrekciókat alkalmaz a Nap és Föld távolság változására (Hasimoto 2005) :

$$G_0 = G_{sc} \left[1 + 0.34 \cos \left(\frac{360}{365} (d_n - 1)\right)\right] \quad (2.50)$$

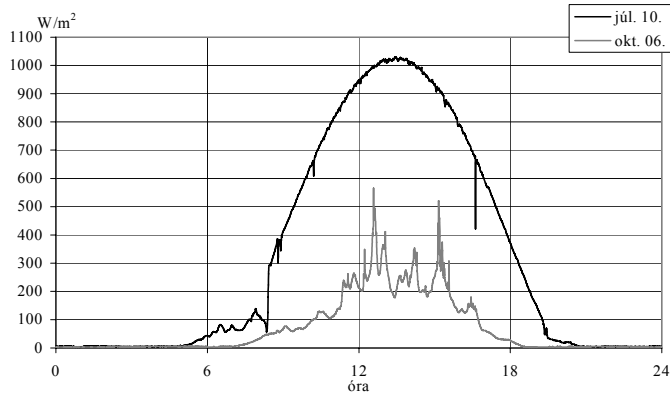
Gyakran egy pontosabb matematikai összefüggést alkalmaznak, amely figyelembe veszi még a beesési szög értékének a Julián naptár szerinti változását is (Rajenda 2006, Barótfi, 2000).

Egy tetszőleges helyzetű felületet ért teljes sugárzás meghatározható a vízszintes felületen mérhető sugárzási komponensek felhasználásával. Geometriai adatok segítségével kifejezhető a direkt sugárzás nagyságából, vagyis:

$$I_{dir\beta} = I_{dirh} \frac{\sin \alpha}{\cos \vartheta} \quad (2.51)$$

A vízszintes felületet ért sugárzás értékét sugárzásmérők segítségével határozzák meg, amelyek egy adatgyűjtő rendszer alkotóelemeiként az adott helyszín sugárzási adatait rögzítik. Az érzékelők segítségével elkészíthető az érdekelt helyszínek napsugárzási adatainak az elemzése. Egy adatgyűjtő rendszer felépítése más berendezések beszerzését is igényli.

A 2.31. ábra két mérési adatsort szemléltet, amelyet a Gödöllői Szent István Egyetem adatgyűjtő rendszere segítségével mért adatok alapján szerkesztettem.. Amint látható, a mérések a vizsgált időszakban elég nagy eltérést mutatnak a sugárzási adatokban. Az ábrán egy szinte tökéletesen derült nyári (2000. júl. 10.) és egy változóan felhős őszi napon (2000. okt. 6.) a beérkező globálsugárzás napi alakulása látható.



2.31. ábra Az adatgyűjtő-rendszer segítségével mért sugárzási adatok

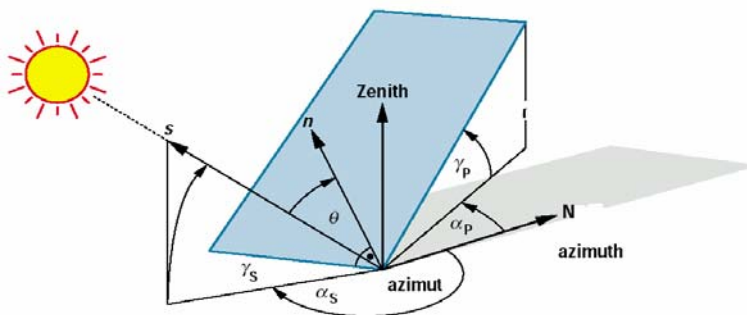
A kutatások során egy kézi sugárzásmérőt alkalmaztam, amely egységnyi felületre érkező sugárzás energiáját méri. Az adott jel értéke $1\mu\text{V}$ feszültség, 1 W/m^2 napsugárzás intenzitásra. Az adatokat 1 s mintavételezési idővel mértem és a napi átlagos sugárzás értékét a mért adatok integrálásával határoztam meg (Dorvlo 2002). Vagyis:

$$H = \int_0^{24} I dt \quad (2.52)$$

A fenti összefüggés Matlab Simulink környezetben könnyen modellezhető, így a H érték, a napi átlagos besugárzás meghatározható.

2.7.3. Dőlt elnyelő felületen hasznosítható napsugárzás

A PV rendszerek elhelyezése tetszőleges lehet, általában a tájolása dél irányú, a dőlésszöge változhat 30- 90 fok tartományban. A cél egy telepítéskor az optimális dőlésszög meghatározása a maximális energiatermelés érdekében. Egy tetszőleges helyzetű és dőlésszögű felület viszonyát a 2,32. ábra szemlélteti:



2.32.ábra A PV felület geometriai viszonya

ahol, γ_β - a felület dőlésszöge,
 γ_s - a napmagasság szöge,
 θ - a napsugárzás iránya és az elnyelőfelület normálisa által bezárt szög,
 α_s - azimut szög,
 α_p - az elnyelőfelület tájolása.

Mint ismeretes a vízszintes felületre érkező sugárzás összetevője a direkt és a szórt sugárzás, amely a felhőkről illetve a környezetből érkezik. A szórt sugárzás komponense jelentős hányadot képvisel a teljes sugárzás értékében. Egy adott felületen, amely egy adott dőlésszöggel rendelkezik a direkt sugárzás értéke:

$$I_{dir\beta} = \frac{I_{dh}}{1} \frac{\cos \theta_\beta}{\sin \gamma_s} \quad (2.53)$$

ahol, I_{dh} - a vízszintes felületre érkező direkt sugárzás értéke. Hasonló módon határozható meg a dőlt felületre jutó szórt sugárzás értéke, felhasználva a vízszintes felületen mért szórt sugárzás értékét. Vagyis:

$$I_{dif\beta} = 0.5I_{difh}(1 + \cos \beta) \quad (2.54)$$

Nem egyenletes sugárzás esetén a fenti egyenlet egy faktorial szorzódik, így:

$$I_{dif\beta} = 0.5I_{difh}(1 + \cos \beta)(1 + \cos^2 \vartheta \sin^2 \vartheta_z)(1 + \sin^3 \frac{\beta}{2})$$

A szakirodalom e témakört részletesen tárgyalja, pl. Erbs (Quasching 2006) a szórt sugárzás napi értékét a homályossági tényezővel (k_T) határozza meg.

$$H_d = H[1.317 - 3.023k_T + 3.372k_T^2 - 1.769k_T^3], \quad (2.55)$$

ha $0.3 < k_T < 0.8$

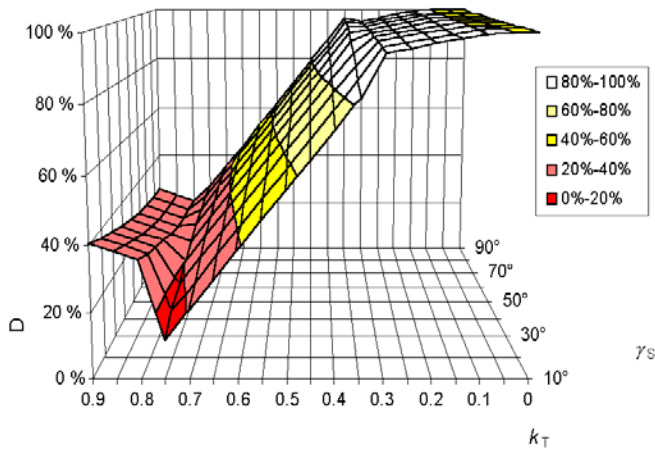
A homályossági tényező a teljes sugárzás és az atmoszféra felső rétegéhez ért extraterresztriális sugárzás aránya [1]:

$$K_T = \frac{G}{B_0}, \quad (2.56)$$

$$B_0 = \frac{24}{\pi} S \left(1 + 0.33 \cos \left(\frac{2\pi d_n}{365} \right) \right),$$

$$(\cos \phi \cos \delta \sin \varpi_s + \varpi_s \sin \phi \sin \delta),$$

ahol a jelölések a napgeometriában ismertek, míg az S, a napállandót jelöli, értéke 1353 W/m^2 . A homályossági tényező, a napmagasság szöge és a szórt sugárzás közti összefüggést a 2.33. ábra szemlélteti (Quasching 2006).



2.33. ábra A szórt sugárzás és a homályossági tényező közti kapcsolat

Mint látható, a szórt sugárzás értéke alacsony, ha a teljes besugárzás értéke magas, ami abban az esetben igaz, ha a k_T értéke egységnyi. A szórt sugárzás értéke egy adott dőlésszögű felületen a következő összefüggéssel határozható meg:

$$D(\beta) = \frac{1 + \cos \beta}{2} D \quad (2.57)$$

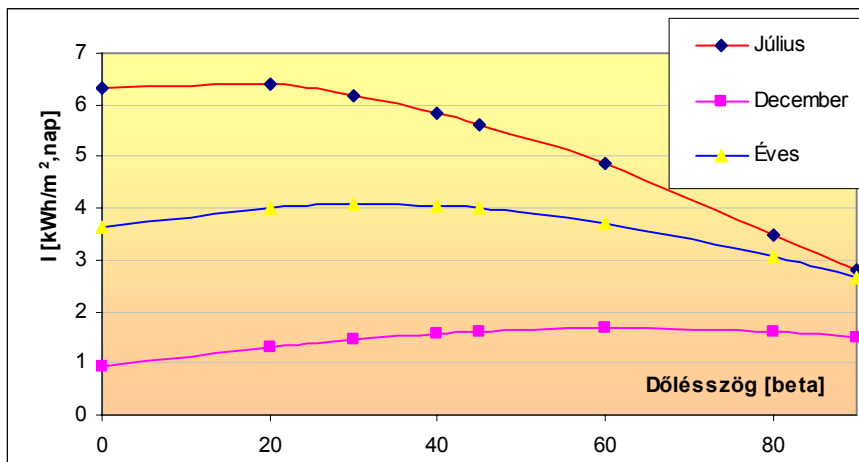
ahol a D a szórt sugárzás értéke vízszintes felületen, míg β a felület dőlésszöge. A teljes, globális sugárzás értéket egy adott dőlésszögű felületen a szórt, a környezetből reflektált és a direkt sugárzás összegével határozhatjuk meg. A direkt sugárzás értéke egy dél tájolású felület esetében:

$$B(\beta) = B \frac{\cos(\Phi - \beta) \cos \delta \sin[\varpi_s(\Phi - \beta)] + \omega_s(\Phi - \beta) \sin(\Phi - \beta) \sin \delta}{\cos \Phi \cos \delta \sin \varpi_s + \varpi_s \sin \Phi \sin \delta} \quad (2.58)$$

A fenti egyenletben használt jelölések azonosak a 2.7.3. fejezetben megadottakkal. A környezet által reflektált sugárzás $R(\beta)$ értéke pedig:

$$R(\beta) = \frac{(1 - \cos \beta) D}{2} \quad (2.59)$$

A következőkben egy adott helyszínre, β dőlésszögű felületre érkező napsugárzás értékeit vizsgálom (Markvart, 1994).



2. 34. ábra A dőlésszög és a besugárzás közti összefüggés

A 2.34. ábrán havi bontásban a besugárzás átlagértékét szemléltetem a dőlésszög változásának a függvényében. Látható, hogy éves működés esetében a 30-40 fok tartomány az ideális, általában megközelíti az adott helyszín földrajzi szélességét. A nyári időszakra 18- 22 fok tartomány ajánlott, míg a téli periódusra a majdnem függőleges dőlésszög a tökéletes. Az ábra a 2.10. táblázat adatsora alapján készült.

2.10. táblázat Energiahozam változása a dőlésszöggel

Hónap	Horiz. Glob, kWh/m ²	20 fok. Glob, kWh/m ²	30 fok. Glob, kWh/m ²	40 fok. Glob, kWh/m ²	60 fok. Glob, kWh/m ²	80 fok. Glob, kWh/m ²	90 fok. Glob, kWh/m ²	Átlag, kWh/m ²
Dőlésszög	0	20	30	40	60	80	90	45.5
Jan.	1,32	1,9	2,09	2,26	2,42	2,3	2,2	2,15
Febr.	1,96	2,4	2,71	2,84	2,9	2,6	2,4	2,58
Márc.	2,97	3,3	3,48	3,53	3,4	3	2,7	3,23
Ápr.	4,47	4,9	4,88	4,8	4,33	3,5	3	4,3
Máj.	5,42	5,5	5,4	5,18	4,39	3,3	2,7	4,65
Jún.	6,4	6,4	6,13	5,78	4,75	3,4	2,7	5,13
Júl.	6,32	6,4	6,17	5,84	4,85	3,5	2,8	5,18
Aug	5,64	6	5,97	5,8	5,08	3,9	3,2	5,15
Szept.	4,06	4,7	4,84	4,88	4,6	3,9	3,4	4,40
Okt.	2,71	3,5	3,71	3,88	3,92	3,6	3,3	3,56
Nov.	1,4	1,9	2,08	2,22	2,34	2,2	2,1	2,06
Dec.	0,93	1,3	1,46	1,57	1,68	1,6	1,5	1,45

Összefoglalva, a szakirodalom elemzés során ebben a fejezetben olyan cikkeket és könyveket tanulmányoztam, amelyek tudományosan közelítették meg e témakört.

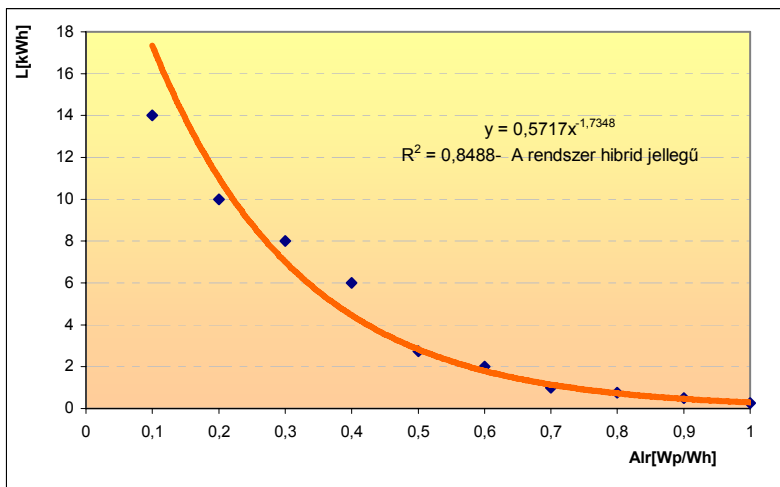
Olyan összefüggéseket ismertettem, amelyek segítségével a továbbiakban modelleket alkothatok és tézisek építhetők a megfigyelésekre. A matematikai összefüggéseket követő ábrák általában saját adatokból illetve szakszoftverekből származó szimulálásokról származnak, amelyeket MS-Excel segítségével ábrázoltam.

2.7.4. Hibrid fotovillamos és szélgenerátoros rendszerek

Egy szigetüzemű rendszer esetében a fogyasztók energiaellátását fotovillamos és egy adott teljesítményű szélgenerátor segítségével valósítjuk meg (Dalton 2008, Khan 2005, Akellia 2007). Az üzemmentes napok esetében az energiaszükségletet a tárlórendszer biztosítja, amely egy adott kapacitású akkumulátor, ez biztosítja a rendszer autonómiáját. A szakirodalom az autonóm PV rendszerek esetére a földrajzi szélesség függvényében határozza meg a tárolókapacitás értékét, ahol figyelembe kell venni az adott helyszínen a havi borult napok számát, amely megközelítőleg megegyezik az üzemmentes napok számával. Ez a földrajzi szélesség függvényében az alábbiak szerint alakul (Markvart 2006):

Földrajzi szélesség, [°]	Borult napok száma, [nap]
0-30	5-6
30-40	10-15
40-50	15-20

Mint látható a térségünkben egy autonóm rendszer tárolókapacitását úgy kell tervezni, hogy 10-20 borult nap esetében tudja biztosítani a fogyasztási igényeket. Az egyenletes üzemeltetés érdekében energiatárolásra van szükség. A fogyasztó energiaigényét, a téli hónapokban általában egy segédáramforrással lehet biztosítani, mivel nagy tárolókapacitások tervezése gazdasági okokból nem indokolt. Általában egy szigetüzemű rendszer esetében az akkumulátor február hónapban lesz a legjobban kisütött állapotban és májustól novemberig található teljesen feltöltve (Lowe 2001). Egy jól tervezett rendszer esetében arra törekszünk, hogy az időjárás okozta kieséseket az energiatermelésben egy jól meghatározott energiatároló akkumulátor teleppel biztosítsuk. Az akkumulátor telep tárolókapacitásának egy része kiváltható más energiatermelő rendszerek bekapcsolásával, például szélgenerátor vagy dízelgenerátor felhasználásával. A hibrid rendszerek ezt az arányt próbálják csökkenteni. Ismerve a napi energiafogyasztást és a termelt energia és fogyasztás arányát (ALR), (Wenham 2007, Bechrakis, 2006), a 2.35. ábra diagramját alkalmazva az alábbi diagramot meghatározhatjuk, hogy a napi fogyasztás függvényében milyen rendszer alkalmas az adott fogyasztási igények biztosítására.

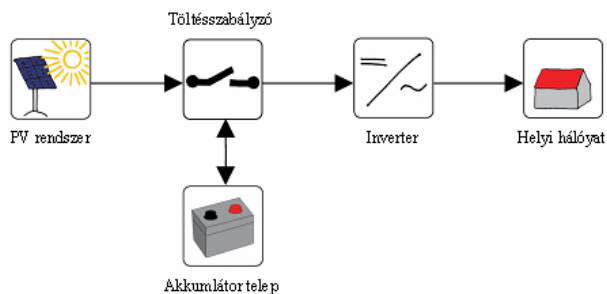


2.35. ábra Hibrid rendszerek tervezésére használt diagram
(forrás: Sandia National Laboratories alapján saját szerkesztés)

A diagramból látható, hogy a hibrid rendszerek nagy napi energiafogyasztásra alkalmasak, míg kislevegyszítás esetében a fotovillamos rendszerek működtetése ajánlott, a görbe alatti adatok a PV rendszerre jellemzők. A görbe fölötti tartomány a PV energiaforrás használata mellé más energiaforrás alkalmazását igényli, például szél vagy dízel generátor. Ezen források alkalmazása jelentős mértékben csökkentheti az akkumulátor tárolókapacitását. A szigetüzemű rendszerek működhetnek PV generátorral vagy hibrid üzemmódban. A rendszerekben közös, hogy a termelt energiát akkumulátorokban tárolják. A rendszer működésének a biztonságát a fogyasztási index (loss of load probability-LOLP) jellemzi, amely a teljesítménykiesés valószínűségére vonatkozik. Értékét a tervezés kezdetén meg kell határozni:

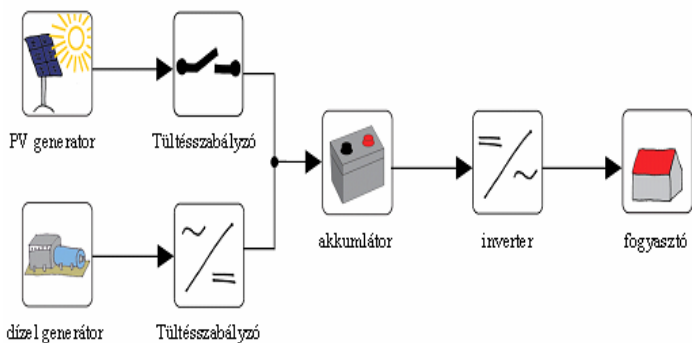
$$LOLP = 1 - A \quad (2.60)$$

ahol, A – (availability) a rendszer kihasználásra vonatkozik. E paraméternek a meghatározásával, Chapman szerint (Quascing 2006, Puls 2001) meghatározható az akkumulátorteleg tárolókapacitása. Ha biztonságos működést akarunk, vagyis teljesítmény kiesés nélkül, akkor a tárolókapacitást maximumra kell terveznünk. A módszer leírását a következő fejezetben ismertetem. A továbbiakban a szakirodalomban tárgyalt fotovillamos rendszerek struktúráját ismertetem. A 2.36. ábrán látható rendszer energiaszükségletét egy PV (fotovillamos modul) biztosítja, amely által termelt energiát a töltésszabályzó segítségével egy akkumulátor telepben tárolja, onnan pedig egy inverter segítségével eljuttatja a fogyasztóhoz, (Diaf et al, 2008).



2.36. ábra Szigetüzemű PV Rendszer (forrás: ISE, Freiburg)

A PV rendszer által termelt energiát egy inverter segítségével alakítjuk át 230 V feszültséggé ahonnan a fogyasztókat tápláljuk. A PV rendszerek nagyfogyasztók táplálására nem hatékonyak. A kelet-európai térségben mivel a borult napok száma különösen téli és őszi periódusokban eléri a 10-15 napot is, az energiakiesést nagy tárolókapacitásokkal tudjuk biztosítani. A napsugárzás évszaki változása e térségben nagy, így a fogyasztó energiaigényét nagyszámú fotovillamos modul alkalmazásával elégíthetjük ki. E kapacitást és a fotovillamos modulok számát csökkenthetjük más energiaforrások beiktatásával, például szél vagy dízel generátor illetve üzemanyag cella használatával. Az alábbi ábrák e hibrid rendszerek szerkezetét vázolják.

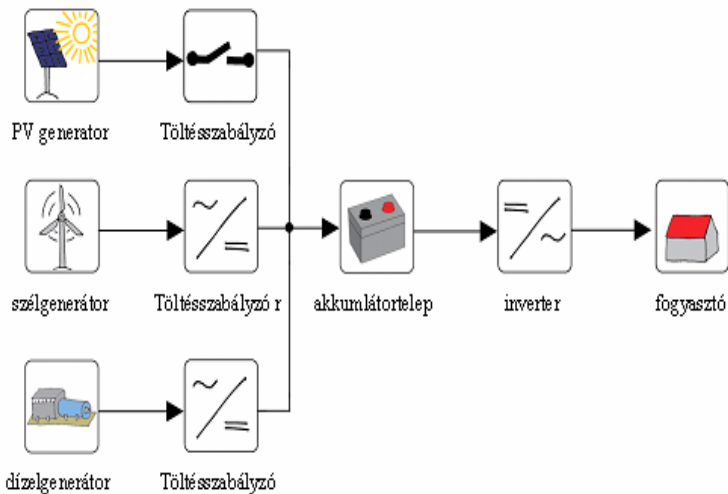


2.37. ábra Fotovillamos-dízel hibrid rendszer felépítése (forrás: ISE- Freiburg)

A 2. 37. ábrán látható, hogy egy részét a PV moduloknak dízelgenerátorral váltjuk ki, amely rátermel a rendszerre és éjszaka vagy rossz idő esetében az energia termelést biztosítja. Ha növényi eredetű üzemanyagot (biodízelt) használunk, akkor a megoldás környezetbarát is. Ma már kis fogyasztású, kis zajszinten működő dízel generátorokat gyártanak. Abban az esetben, ha a település jó szélpotenciállal rendelkezik - például hegyvidéken vagy a tengerpart közelében található -, akkor kialakíthatunk olyan rendszert is, amely a két energiaforrás komplementaritását

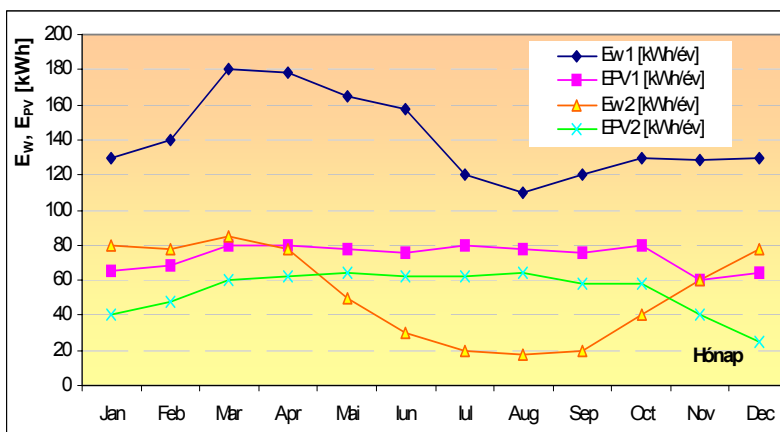
2. Irodalmi áttekintés

kihasználva üzemszünetmentes energiatermelést biztosít. A 2.38. ábra egy ilyen rendszer szerkezeti felépítését szemlélteti.



2. 38. ábra Fotovillamos elemekből, szélgenerátorból és dízelgenerátorból kiépített hibrid rendszer

A hibrid rendszerek telepítésekor figyelembe kell venni a környezeti tényezők hatását. Azonos technikai felépítésű rendszer változó energia termelésű, ha a helyszín környezeti paraméterei változóak. A szakirodalom [8] példaként említi egy 6 darab $75 W_p$ teljesítményű fotovillamos modul és egy $400 W_p$, (Whisper 40) csúcsteljesítményű szélgenerátorból álló rendszer energiamérlegét. Egy szelesebb vidéken, illetve egy alacsonyabb nap és szélpotenciállal rendelkező helyszínen a rendszer energiamérlege jelentősen különbözik. A különbség a szélenergia termelésben jelentős, elérheti a 180% értéket is (2. 39. ábra).



2.39. ábra Fotovillamos-szél hibrid rendszer éves energiaterelése (forrás: Gipe- Windpower, saját szerkesztés)

Amint a fenti ábra szemlélteti a két helyszínen a szélgenerátor által termelt energia jelentősen különbözik, az első helyszín esetében a szélgenerátor energiamérlege jóval meghaladja a fotovillamos PV rendszer energiatermelését. A fotovillamos rendszer esetében a különbség nem annyira szembetűnő, a változás a napsugárzás intenzitás különbségének köszönhető. Ajánlott egy hatástanulmány készítése, amely alapján megalkotható a legjobb technikai felépítésű hibrid rendszer. A PV rendszer túlméretezése gazdasági okokból korlátozott ezért a hatástanulmány alapján kiválasztható a legjobb rendszerösszetétel. A továbbiakban három hibrid rendszer energiatermelését szemléltetem, amelyek egy adott helyszínen üzemelnek, a termelt energiát akkumulátorokban tárolják és a fogyasztókat egy áramátalakító segítségével táplálják. A szélgenerátorok kisteljesítményűek, az áramátalakítók úgy voltak kiválasztva, hogy villamos gépek üzemeltetésére is képesek legyenek, különösen a háztartási szigetüzem esetében. Mint ismeretes indításkor a felvett áramerősség a működéskor felvett áram háromszorosa, így az invertert ennek a függvényében kell megválasztani. Az első esetben (2.11. táblázat) egy mikro rendszer energiaellátó egységének éves energia termelése látható. A hibrid rendszerek esetében Sagrillio (Gipe 2004, Ashock, 2007) szerint a szélenergia komponens 2/3, míg a PV komponens értékét 1/3 részben kell tervezni.

2.11. táblázat: Mikro hibrid rendszer adatai

Mikro hibrid rendszer				
Alkotóelem	Típus	Felület, [m ²]	Éves en.termelés, AOE (kWh)	Energia ár, \$/kWh
Szélgenerátor	SWP Air	1,1	429	4,7
PV Panel	4-modul, 300Wp	2,4	548	4,9
Akkumulátortelep	4kWh			
Inverter				
Össz			1000	5,6

A gyakorlat azt igazolja, hogy e két energiaforrás aránya változó. Sok esetben a PV komponens értéke nagyobb, mivel a szerelése könnyebb és működése zajmentes. A technikai megoldásként ajánlott a PV modulokat változtatható dőlésszögű állványra erősíteni, így nyári időszakban a termelt energia magasabb értékű 40-50%, míg a télen ez az érték 10-15% körüli. Amint a 2.11. táblázatban látható a PV felület értéke 2-3 m² körüli, ami lehetővé teszi egy költségkímélő változtatható dőlésszögű állvány alkalmazását a modulok rögzítéséhez.

A 2.12 táblázatban egy hétvégi ház energiaellátására tervezett rendszer éves energiamérlege látható.

2.12. táblázat Hibrid rendszer adatai hétvégi házhoz

Hétvégi házhoz alkalmas hibrid rendszer				
Alkotóelem	Típus	Felület, [m ²]	Éves energiatermelés, AOE (kWh)	Energia ár, \$/kWh
Szélgenerátor	BVC XL1	4,9	1963	1,8
PV Panel	6-modul, 450Wp	3,6	821	4,6
Akkumulátortelep	8kWh			
Inverter				
Össz			2800	3,6

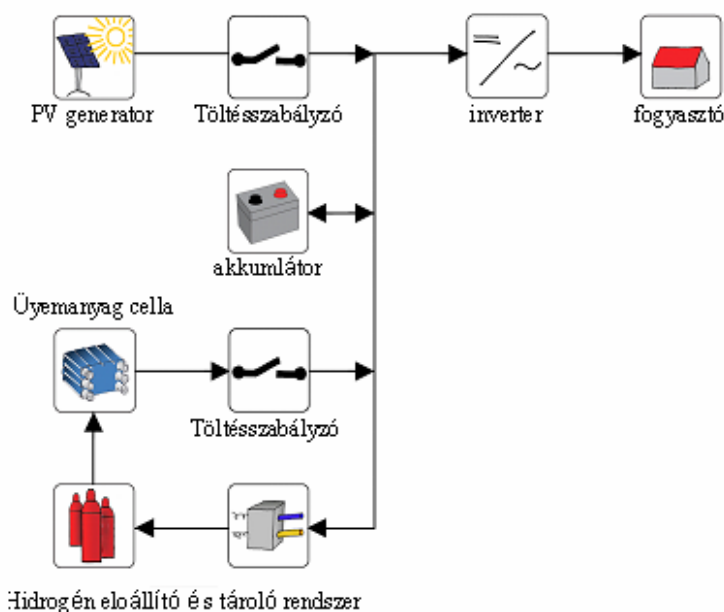
Ebben az esetben a PV komponens részaránya az energiatermelésben 1/3 körüli, Linenthal szerint ajánlott a kisteljesítményű szélmotorok esetében nagy átmérőjű rotorok alkalmazása mivel ez esetben az indulási sebesség alacsony és így a berendezés majdnem folyamatosan működhet, a Betz féle egyenlet alapján nagyobb teljesítmény kihasználás esetén is. Így jelentősen csökkenthető a tárolókapacitás értéke és a PV – fotovillamos komponens részaránya. A folyamatos működés meggátolja az akkumulátortelep túltöltését. Mint a gyakorlat igazolja kis átmérőjű szélkerekek gyakran éjszaka során, különösen part menti helyszíneken működő rendszerek esetében, viharos szelek jelenlétben többlet energiát termelnek, amelyet a felhasználó nem tud hasznosítani csak nagy tároló kapacitás létezésekor. Ennek kiépítése sok esetben gazdasági okokból nem indokolt. A 2.13. táblázat egy szigetüzemű rendszer energiatermelését szemlélteti. A hibrid rendszer (Gipe 2004) egy kis családi gazdaság energiaellátását biztosítja.

2.13. táblázat Adatok háztartási méretű igények kielégítésére

Kisteljesítményű háztartási hibrid rendszer				
Alkotóelem	Típus	Felület, [m ²]	Éves energiatermelés, AOE (kWh)	Energia ár, (\$/kWh)
Szélgenerátor	AWP 3.6	10,21	4072	1,2
PV Panel	12-modul, 900Wp	7,2	1643	2,3
Akkumulátortelep	16kWh			
Inverter				
Össz			5700	2,6

A fenti táblázatban ismertetett rendszer nagymértékben biztosítja egy gazdaság energiaigényét, jelentős tárolókapacitással rendelkezik, amely 24 V-os feszültségen működik. Az áramátalakító kiválasztása a Sandia National Laboratory irányelvei alapján történt, vagyis a napi energiafogyasztás 125%-os értékén. A tervező nem javasolja vízmelegítő, elektromos sütő és más nagyfogyasztók alkalmazását szigetüzemű rendszerek esetében főzésre, vízmelegítésre gáztüzelésű

berendezés használatát ajánlja. Ez által az inverter működési élettartama megnövelhető. Az energiátárolás, mint ismeretes, akkumulátor segítségével történik. Ajánlott a telep külön helyiségbe történő szerelése, mivel a töltéskor kibocsátott gázok kissé korrozív jellegűek, a hidrogén pedig, amely a túltöltéskor keletkezhet robbanásveszélyes. Mindezeket figyelembe véve a telepítéskor egy biztonságosan működő rendszert készíthetünk (Dakkak, 2003). A szakirodalom újabb energiatermelő egységek bevezetését ismerteti. Például a Freiburgi ISE intézet egy alpesi menedékház energiaellátását egy komplex rendszerrel oldotta meg, ahol a klasszikus elemek mellett egy üzemanyag cella is található. A szél fotovillamos rendszer által termelt többlet villamos energiát egy elektrolizáló cella segítségével, vizet felhasználva hidrogénné alakítják és így tárolják, majd szükség esetén egy üzemanyagcellával villamos energiát nyernek. A rendszer szerkezeti felépítését a 2.40. ábra szemlélteti.



2.40. ábra Hibrid fotovillamos-szélenergiát és hidrogént alkalmazó autonóm rendszer

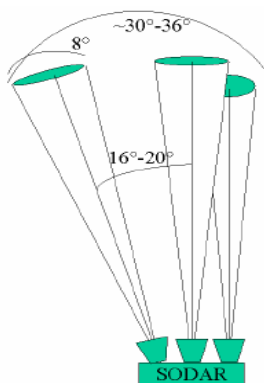
Összegezve az ismertett megoldások felhasználhatók egy optimális szerkezetű PV –szél hibrid rendszer kialakításakor. Látható, hogy a gyakorlatban a szél felhasználásából származó részarány $2/3$ míg a PV részarány $1/3$.

2.7.5. Az energetikai szélmérés korszerű módszerei (SODAR)

A Sodar (Sonic Detection and Ranging) olyan távérzékelésű eszköz, amely képes a földfelszínről közvetlen szélprofil mérést végezni a légkör legalsó néhány 100 m rétegében. Működési elve arra épül, hogy a berendezés által 6 s időtartamú

2. Irodalmi áttekintés

ciklusokban kibocsátott 1875 Hz frekvenciájú és 340 m/s sebességű hallható rövid hangimpulzusok a légkör különböző magasságában levő mikro turbulenciákról visszaverődnek és fáziseltolódást szenvednek. A hanghullámokat, egy 16-64 tagot számláló hangszórócsoport bocsátja ki, ezután a hangszórók vételi funkcióra kapcsolódnak és érzékelik a fáziseltolódást szenvedett visszaérkező hanghullámokat. A berendezés a hanghullámokat először függőleges irányba gerjeszti, majd ezután a következő hanghullámot 25° északi irányba és az utolsót 25° keleti irányba dőlve bocsátja ki. Ez a mérőrendszer egy adott helyszínen akár 20 különböző magassági szinten 30 és 315 m magasság-tartományban közvetlenül meghatározza a légmozgás tulajdonságait. A Sodar műszerek igen nagy pontossággal határozzák meg a szélesség és a szélirány értékét. A rendszer működését a 2. 41. ábra mutatja. (Tóth 2003)



2.41. ábra Sodar mérési rendszer

A Doppler jelenség következtében a kibocsátott és visszaverődött jel frekvenciájában történő változás mérése alapján meghatározható az örvény mozgása és helyzete. A visszatérő jel erősségnek és frekvenciájának időarányos mérése alapján a kibocsátó antennától különböző távolságra meghatározható a sebesség változása az atmoszférában. További információ nyerhető a függőleges irányba és a függőlegeshez képest kissé dőlve merőlegesen kibocsátott jelekből. Ez alapján meghatározható a sebesség vízszintes és függőleges összetevője és a vertikális szélirány változása a légkörben. A 2.41. ábrán egy Sodar mérőrendszer látható a hangkibocsátó és fogadó egységgel. A mérőrendszer alkalmas a Hellmann tényező meghatározására is, továbbá jelentős alkalmazási területe a felhőkutatás. A szélenergia termelő rendszerek, villamosenergia termelésének előrejelzésére is alkalmazható, amely fontos feltétele a nemzeti hálózatra való kapcsoláskor. A kis teljesítményű rendszerek telepítésekor a Sodar mérés alkalmazása nem jellegzetes.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Energetikai célú szélmérések

Ebben a fejezetben az energetikai szél mérés gyakorlatban alkalmazott módszereit ismertetem. 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.

3.1.1. NRG szélsébség szélirány mérőrendszer

Az energetikai jellegű szélmérések keretében ismerni kell a beruházás elindítása esetén a szélviszonyokat - informatív jelleggel elfogadhatók a környező meteorológiai állomások adatai is -, a helyi domborzati viszonyokat és a szél áramlását befolyásoló természetes és mesterséges környezeti elemeket, továbbá ismerni kell a beruházás ökonómiai méreteit. A felhasználás függvényében el kell dönteni milyen jellegű méréseket végzünk. Előzetes becsléskor a közeli meteorológia állomás adatai alapján és a domborzati viszonyok, akadályok figyelembevételével elvégezhető egy informatív jellegű kiértékelés, amelyet kedvező elbírálás esetén, egy helyszíni mérőszorozattal egészítünk ki. A mérés időtartama legalább egy éves futamidejű legyen. A méréseket különböző magasságon ajánlott végezni, fontos meghatározni az átlag szélsébségeket a domináló szélirányt, a környezeti hőmérsékletet, és a légnyomásváltozást. A szélsébség mérésére anemométereket használunk, amelyek a szél időegység alatt megtett útját mérik. A méréseim során egy forgókerekes szélsébségmérőt használtam, a szélnek kitett érzékelő rész forgásba jön bármilyen is legyen a szélirány. Az érzékelő forgásából meghatározható a közepes szélsébség. A méréskor alkalmazott szélsébségmérő NRG 40 típusú (3.1. ábra), amelynek műszaki adatait a 3.1. táblázat tartalmazza.



3.1. ábra Az NRG 40C(a) és az NRG 200P(b) érzékelők

3. 1. táblázat NRG 40C. szélességmérő műszaki adatai

Mérési tartomány	1-96m/s
Mérési pontosság	±3%
Felbontás	0.1 m/s
Indító szélesség	0.78 m/s
Érzékelő	Félgömb kanál
Környezeti hőmérséklet	-55°C-+60°C
Tömeg	0.14 kg

A gyártó az érzékelőket műszaki tanúsítvánnyal szállítja, amely egy adott időszakra érvényes.

A gyártó által megadott mérőérzékelőre jellemző összefüggés:

$$m / s = (Hz * 0.765) + 0.35$$

A fenti összefüggés értelmezése:

$$\text{szélesség} [m/s] = [\text{frekvencia} [1/s] * \text{meredekség} [m]] + \text{konstans} [m/s]$$

A végzett mérések informatív jellegűek, a torony magassága 30 m, az érzékelőket 10, 20 és 30 m magasságban helyeztük el. Az adatfeldolgozás során meghatározható a Hellmann tényező, melynek segítségével kiszámítható a generátor üzemi magasságában a várható szélesség. 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 széliránymérőt úgy kell rögzíteni, hogy az oszlopszerkezet és a rögzítési megoldások ne befolyásolják az érzékelők körüli áramlást. Az adatfelbontás a szélesség 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 szélességet. A mérési rendszerbe két széliránymérőt használtam, típusa NRG 200P (a 3.1.b. ábrán látható). A műszaki tulajdonságait a 3.2. táblázat tartalmazza.

3.2. táblázat NRG 200P. széliránymérő műszaki adatai

Mérési tartomány	0-360°
Mérési pontosság	±2%
Felbontás	1°
Környezeti hőmérséklet	-55-(+60 °C)

Az érzékelők az adatgyűjtő analóg csatornájához kapcsolódnak, a 30 m magasságban elhelyezett szélességmérő az 1-es csatornához, a 20 m-en elhelyezett érzékelő a 2-es, míg a 10 méteren mérő a 3-as csatornához kapcsolódik. A 15 m magasságban elhelyezett széliránymérő a 7-es csatornához van kapcsolva.

3. Anyag és módszer

A második szélirány mérő 30 m magasságon található és a 8-as csatornához kapcsolódik. A mérések során használt adatgyűjtő NRG –Symphonie (3.2. ábra), tulajdonságait a 3.3. táblázat foglalja össze (Gipe 2004).



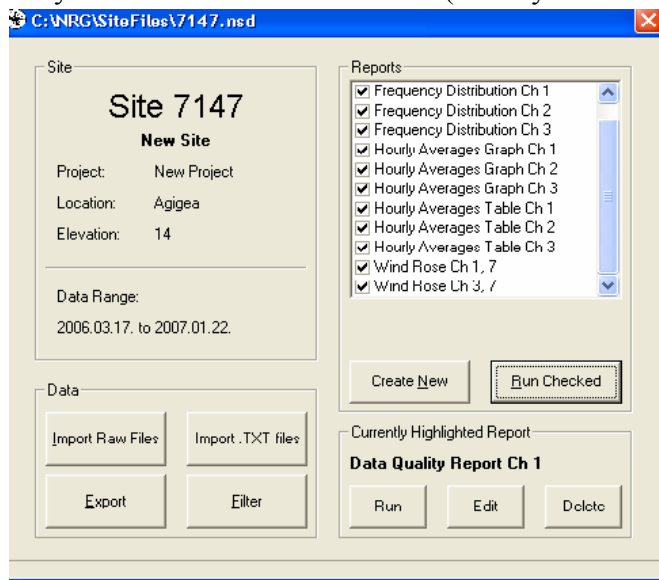
3.2. ábra NRG–Symphonie adatgyűjtő

3.3. táblázat Az adatgyűjtő adatai

Bemeneti csatornák (analóg)	1-3, NRG 40 4-6, más számláló érzékelő 7-8 NRG 200P 9-12 más típusú érzékelők
Adattároló egység	16 MB Multimédia kártya
Használható érzékelők	NRG 200P NRG 100S hőmérsékletérzékelő NRG LI-Cor 200 SA piranométer NRGBP 20 légnyomás szenzor
Üzemi hőmérséklet	-40+65 °C
Adatátvitel	Internetes kapcsolaton e-mail segítségével GSM vagy AMPS modul használatával, dial-up kapcsolat felvétellel
Mintavételezés	2s
A rögzített értékek	<ul style="list-style-type: none">▪ Minden mérés az adott időintervallumban▪ Átlag érték▪ Minimum és maximum érték az adott időintervallumban▪ A turbulenciára utaló standard eltérés érték
Adattárolási tartomány	664 nap
Adat formátum	14 KB nagyságú adat file/nap

3. Anyag és módszer

Az adatfeldolgozást informatív célból készítettem, mivel ezen a helyszínen csak kis teljesítményű szélgenerátor működhet. Az adatfeldolgozás során kapott eredmények alkalmazhatók a szél gép kiválasztására és az energiatermelés becslésére. Az adatokat havi és napi bontásban grafikusan ábrázolva jelenítettem meg, míg a szélsőértékek értékeit napi, illetve órás átlagértékek alapján határoztam meg. A mérések tartalmazzák a három magasságon mért értékeket, de az energiamérleg elkészítésekor a 10 m-en mért adatokat használtam, mivel nem indokolt a magas oszlop használata a kisteljesítményű szélgépek esetében – ezt gazdasági okok korlátozzák. Az adatok (txt) formátumba exportálhatók, amelyek egy táblázat kezelővel tovább felbontva kiértékelhetők, és így meghatározhatók a szélsőértékek értékei a 20 perces átlagokból. Láthatjuk a rögzített időintervallumban a maximum illetve minimum értéket és a turbulenciára utaló standard eltérés értékét. Az adatok feldolgozását az NRG Symphonie Data Retriever 5.1007 adatgyűjtő programcsomaggal végeztem, amely a mérési adatsor időszakára, illetve havi bontásban órás átlagértékekkel megjeleníti a mért adatokat grafikus illetve táblázatos alakban. A 3.3. ábra szemlélteti a kiértékelésre kerülő adatok jegyzékét, és itt láthatók a helyszínre vonatkozó koordináták (NRGsystem.com) .



3.3. ábra NRG adatfeldolgozó programcsomag

Amint a fenti ábra szemlélteti a mérőrendszerünk a 3 magasságba elhelyezett szélsőértékmérő és a két szélirány érzékelő adatait rögzíti 2006. március- 2007. január időszakban. A mérések a Fekete-tenger melletti Agigean tengerszint fölött 14 m magasságban, 20 méterre a parttól történtek. A mért adatok alapján meghatároztam az eloszlás függvényeket a három magasságban és a szélirányokat a mért magasságban.

3.1.2. Kanalas szélességmérők kalibrálása

A kanalas szélességmérőt a 3.4. ábrán látható csatorna mérési egységébe helyeztem és a mérés során rögzítettem a nyomás és a hőmérséklet értékét.



3.4. ábra Gunt szélcsatorna

A ferdecsöves manométeren leolvasott nyomás értékekkel meghatároztam az áramlás sebességét. A mérés során a 3.5. ábrán látható NOVA 5000 számítógépes adatgyűjtőt használtam, amelyhez a szélességmérő kapcsolódott. Az adatokat táblázatkezelővel dolgoztam fel.



3.5. ábra Nova 5000 adatgyűjtő

A Nova 5000-en található egy 4 csatornás adatgyűjtő, amelyhez 80 típusú Fourier gyártmányú érzékelő kapcsolható. Az adatfeldolgozást a Multilab Pro programcsomag végzi. A méréskor még egy AC 012A anemométert is

3. Anyag és módszer

felhasználtam, amely a szélességet és a szélirányt is méri. A szélességmérő 4-280 km/h tartományban mér 0,1 km/h felbontással. A mintavételezési idő 1 s. Az adatok táblázatos illetve grafikus formában jeleníthetők meg, melyekkel statisztikai kiértékelés is végezhető. A széliránymérő 0-360° tartományban mér 7%-os pontossággal, mindkét jel analóg, amelyet a NOVA digitális jellé alakít. Ebben az esetben is a mintavételezési idő 1 s. A szélesség értékét egy ferdecsöves manométer segítségével is meghatároztam. Az alkalmazott manométer a 3.6. ábrán látható.



3.6. ábra Ferdecsöves manométer

A mért eredményeket egy NI. LABWIEV programmal készült sztatikus modell segítségével dolgoztam fel. Összegezve az informatív jellegű szelmérések alkalmasak a szigetüzemű rendszerek helyszínének az elemzésére, az érzékelők kalibrálása elvégezhető egy oktatási célokra kifejlesztett szélcsatornában. A kapott eredmények alapján kiválasztható a legmegfelelőbb teljesítményű szélgenerátor. Az oszlopmagasság költség elemzése a szélesség adatok szerint elvégezhető. Mint ismeretes a gyártók 10-20 m tartományban forgalmazzák a magas tartószerkezeteket, ami nem minden esetben jövedelmező. Ezért fontos ennek elemzése. Egyéni gazdaságok esetében 1-1,5 kW csúcsteljesítményű szélgenerátorok alkalmazása ajánlott. A 3.2.4. fejezet a 3.5. táblázatában található ebbe a kategóriába tartozó szélgépek általános tulajdonságai. A hibrid rendszer kiépítéséhez egy 1 KW csúcsteljesítményű szélgenerátort alkalmaztam.

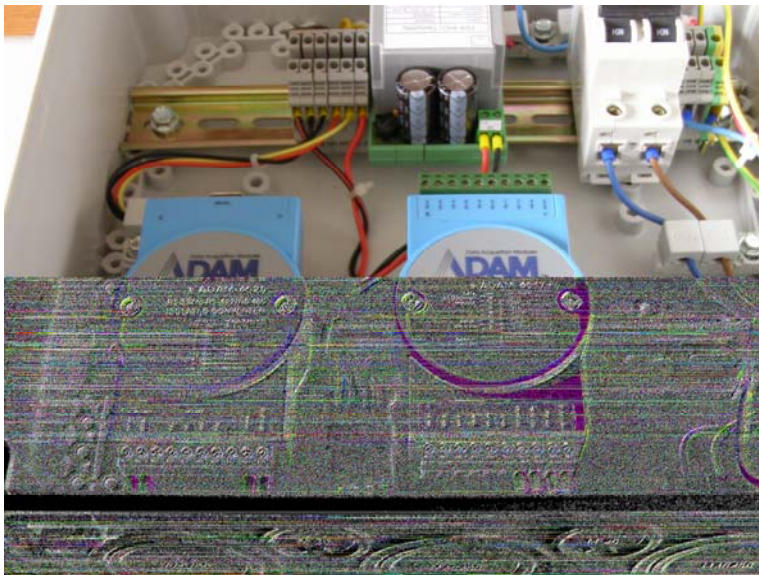
3.2. Fotovillamos rendszerek jellemzése

3.2.1 Napsugárzási adatok mérése

A fotovillamos rendszerek telepítése a helyszín elemzésével kell kezdődjön, vagyis meg kell határozni az adott helyen a napsugárzási viszonyokat. Ez magába foglalja a direkt és a szórt sugárzás értékének a meghatározását és a telepre vonatkozó

3. Anyag és módszer

környezeti hatások elemzését, például a közeli épületek és tárgyak árnyékoló hatását. A teljesítménysűrűség, energiasűrűség ismeretében elkészíthetjük a PV rendszer várható energiamérlegét. Mint ismertes a Föld felszínére érkező sugárzás értéke nyári időszakban tiszta égbolt esetén 1000 W/m^2 körüli. A sugárzás intenzitás mérésére piranométereket használunk, amelyek egy adott tartományban érzékenyek és egy adatgyűjtő egységhez kapcsolódnak. A sugárzásintenzitás értékéből meghatározhatjuk a sugárzási energiát. A mérési adatokat megtaláljuk a meteorológiai szolgálatok adatbázisaiban és az e célra készült atlaszokban és programcsomagokban, például METEONORM. A mérési adatok hiányában ajánlott a helyszín sugárzásintenzitás változásának a meghatározása. E célból egy adatgyűjtő rendszert készítettem, amely ADVANTECH gyártmányú ADAM modulokból áll. A rendszer egy 16 bites adatgyűjtő és egy kommunikációs modulból és az ehhez szükséges tápfeszültség és biztonsági egységekből tevődik össze. Az adatgyűjtő típusa ADAM 4017⁺ míg a kommunikációs modulé ADAM 4520, amely soros RS 232 porton kapcsolódik egy számítógéphez. A modulok 24 V tápfeszültségre kapcsolódnak és az adatok rögzítése e célra készült ADAM View programcsomag segítségével történik. A kiértékelés megvalósulhat egy táblázatkezelő programmal vagy MATLAB segítségével. Az adatgyűjtő rendszer technikai felépítését a 3.7. ábra szemlélteti. A méréskor használt piranométer típusa Kipp & Zonen. Az érzékelő a modul bemenő csatornájához egy műveleti erősítőn keresztül vagy direktbe kapcsolódhat.



3.7. ábra Adam modulokkal kiépített adatgyűjtő rendszer

Az adatgyűjtő modul 8 csatornás analóg bemenőjelű, a csatornák méréstartománya csatornánként külön beállítható, 6 analóg feszültség és 2 egyezményes 0-20 mA áramerősség értékű jelet képes fogadni. A 16 bites adatgyűjtő és a napsugárzás mérő a 0-150 mV tartományú csatornához kapcsolódik. Az adatgyűjtő még az

3. Anyag és módszer

alábbi feszültség tartományokban mérhet: +/- 500 mV, +/- 1V, +/-5V, +/- 10V. A piranométer érzékenysége $70 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$. Így a mért feszültséget, ha elosztva az érzékenység megadott értékével, megkapjuk a sugárzásintenzitást W/m^2 -ben [50]. A gyakorlati adatok alapján teljes felhős égbolt esetében a sugárzás intenzitás $50\text{--}120 \text{ W}/\text{m}^2$, kevésbé felhős égboltnál $120\text{--}500 \text{ W}/\text{m}^2$ és derült égboltnál $500\text{--}1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Az adatfeldolgozáskor az alábbi 3.1 összefüggést alkalmaztam:

$$E_{\text{solar}} = \frac{U_m}{S}; \quad (3.1)$$

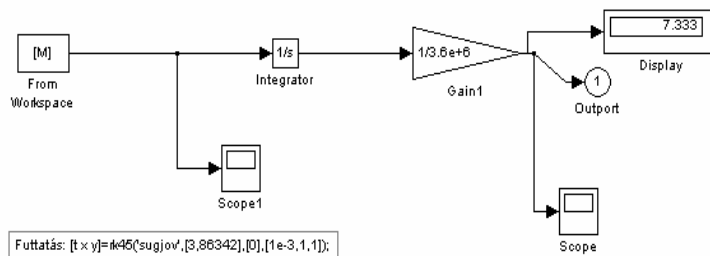
$$\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\mu\text{V}}{\mu\text{V}} = \frac{\mu\text{VW}}{\mu\text{Vm}^2} = \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

ahol, U_m a mért feszültség, S az érzékenység, a kapott érték (E_{Solar}) a sugárzásintenzitás W/m^2 -ben. Az 1s mintavételezés mellett mért adatokat napi bontásba csoportosítva, felhasználva a 3.2. összefüggést megkapjuk a napi teljesítmény sűrűségét:

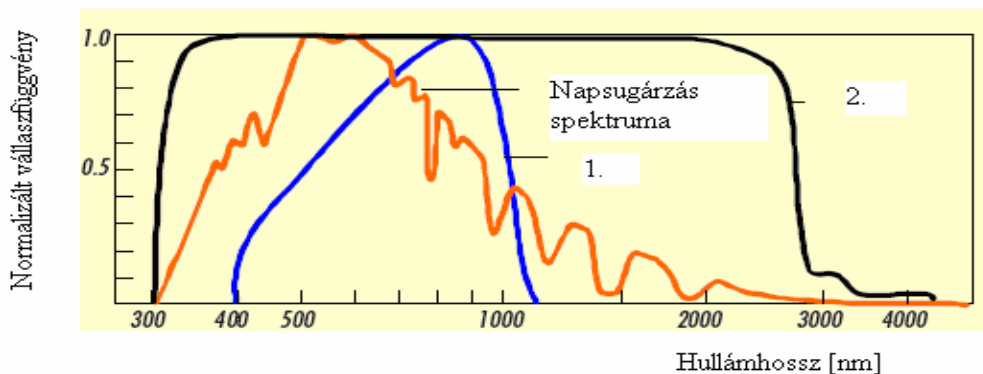
$$H_d = \int_0^{86400} I_d dt \quad (3.2)$$

Az adatok alapján a teljesítmény sűrűségét a Matlab Simulink segítségével numerikus integrálással határoztam meg. A felhasznált modell a 3.8. ábrán látható.



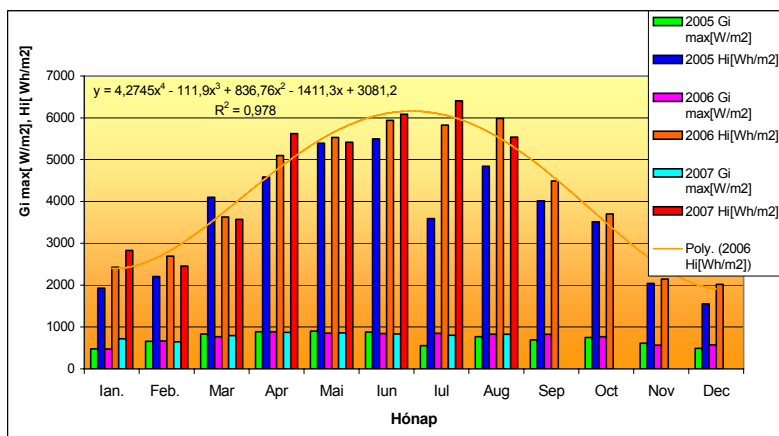
3. 8. A napsugárzási adatok kiértékelése Matlab–Simulink környezetben

Az adatsor integrálása során megkapjuk a napi besugárzási energia értékét. A kapott érték, amint látható a modell kijelzőjén $7.33 \text{ kWh}/\text{m}^2$. A sugárzásmérő a $400\text{--}1200 \text{ nm}$ tartományban érzékeny. A piranométer mérési tartományát a 3.9. ábra szemlélteti, ahol 1. Si alapú érzékelő spektrális válasza és 2. a mérésekor alkalmazott SPL piranométer mérési tartományára utal.



3.9. ábra Napsugárzás spektrális eloszlása és az érzékelő méréstartományja

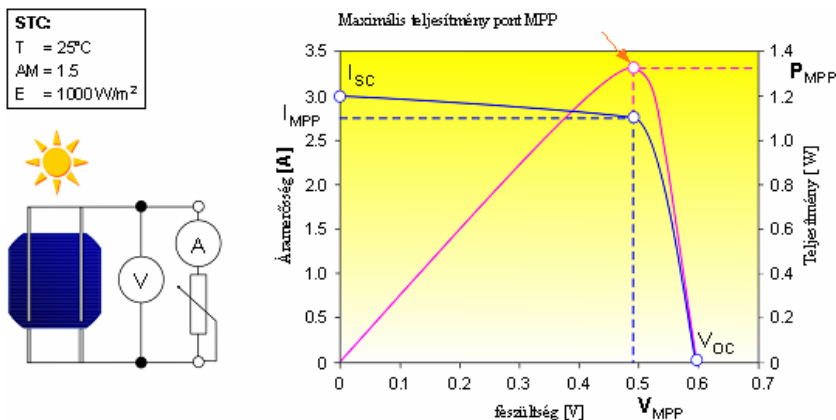
A mérési adatok így teljesen lefedik a napsugárzás spektrumának a látható tartományát. A kutatási tevékenységem keretében elemeztem a Fekete-tenger melletti agigeai adatokat, meghatároztam a napsugárzás intenzitás maximum értékét, G_{\max} [W/m^2], és a beérkező sugárzási energia átlagértékeit, H_i [kWh/m^2] napi illetve havi bontásban. A mérések 2005–2007 időszakban készültek. A 3.10. ábrán a mérési adatok havi változása látható. A sugárzás maximális értékei hasonlóak, az energiahozamok a téli időszakban $1.5\text{--}2.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ míg a nyári időszakban $5\text{--}6.5 \text{ kWh}/\text{m}^2$. A helyszínünk tehát jelentős napenergia potenciállal rendelkezik, így a fotovillamos rendszerek jó hozammal működtethetők. Mint ismeretes a fotovillamos rendszerek 10-15 % hatásfokkal működnek. A direkt sugárzás maximális kihasználásához a legmegfelelőbb, ha a felület mindig merőleges a beeső sugárzásra.



3.10. ábra Energiahozam és maximális napsugárzás intenzitás értékek (Agigea, 2005-2007)

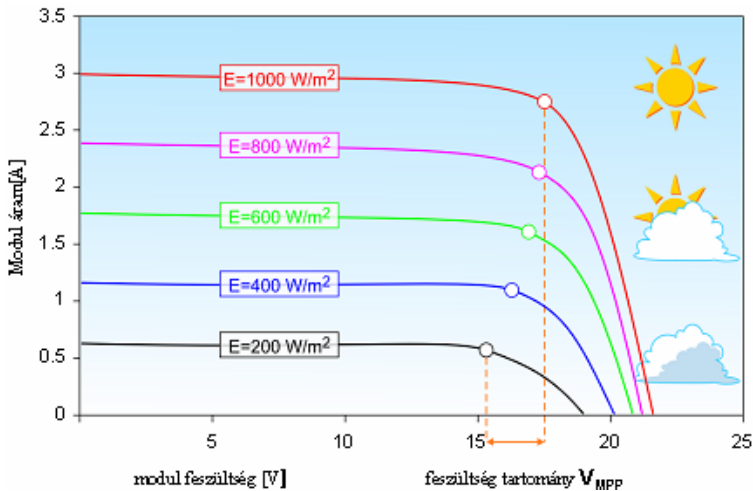
3.2.2. Fotovillamos modul jellemzése

A napenergia villamos energiává történő átalakítását napelemek végzik, a napelemet az adott fényviszonyok esetén a legnagyobb villamos teljesítménytermelésre alkalmazzuk. Ezért fontos a napelem feszültség-áramerősség, illetve feszültség és teljesítmény jeleggörbéjének az ismerete. Ha a napelemre egy fogyasztót kapcsolunk és a működési pontot eltoljuk a jelgörbe mentén, meghatározhatjuk a felszabaduló teljesítmény értékét a feszültség és áramerősség értékének szorzatával. A görbének egy adott ponton maximuma van, amely megfelel a maximális teljesítmény pontnak (MPP). A görbét egy maximális áramerősség értékkel (I_{sc})- rövidzárási áram és egy maximális feszültség (V_{oc}) – üresjárású feszültség értékkel is jellemezzük. A napelem teljesítmény és a feszültség áramerősség jelgömbjét a 3.11. ábra szemlélteti, amelyen láthatók a jellemző paraméterek.

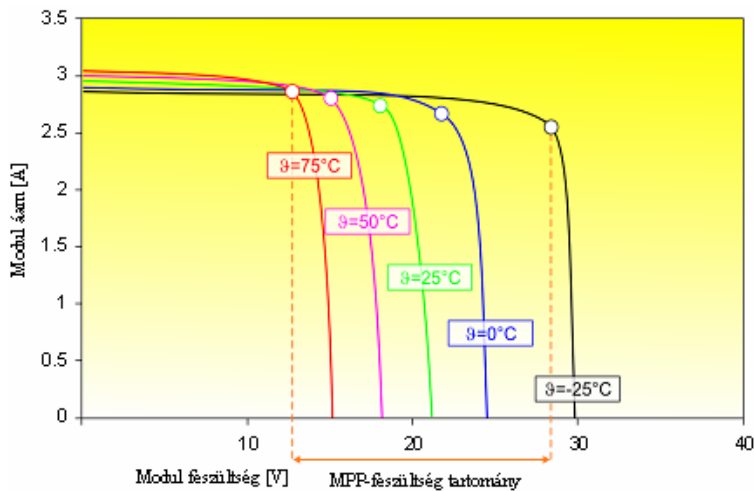


3.11. ábra Napelem áramerősség-feszültség, és teljesítmény jeleggörbéje (forrás: Solarpraxis AG, Berlin)

A napelem villamos paraméterei a fény spektrumától, a napsugárzás intenzitásától és a környezeti hőmérséklettől függenek. E paraméterek figyelembevételével jellemezhetjük a napelem tulajdonságait. Az áramerősség lineárisan függ a besugárzástól, míg a feszültség és a teljesítmény értéke és a besugárzás közt nem lineáris a kapcsolat, ezért a napelem jeleggörbéjét leíró modellek bonyolultak. Állandó hőmérséklet és változó besugárzás esetén a 3.12. ábrán látható jeleggörbét kapunk, amelyen látható, hogy minden adott besugárzás értékhez egy maximum teljesítmény érték tartozik. A rövidzárási áram arányos a növekvő a sugárzás értékével, míg a feszültség esetében az üresjárású feszültséget a besugárzás kevésbé befolyásolja. A maximum teljesítményhez tartozó feszültség érték egy szűk tartományban mozog. A gyakorlat igazolja, hogy a félvezetők tulajdonságait a hőmérsékletváltozás nagymértékben befolyásolja, amely az üresjárású feszültség és az áramerősség értékét is módosítja. Ezáltal a hőmérsékletnövekedéssel teljesítmény csökkenést észlelünk (Lawrance, 1994). E hatást a 3.13. ábrán láthatjuk.

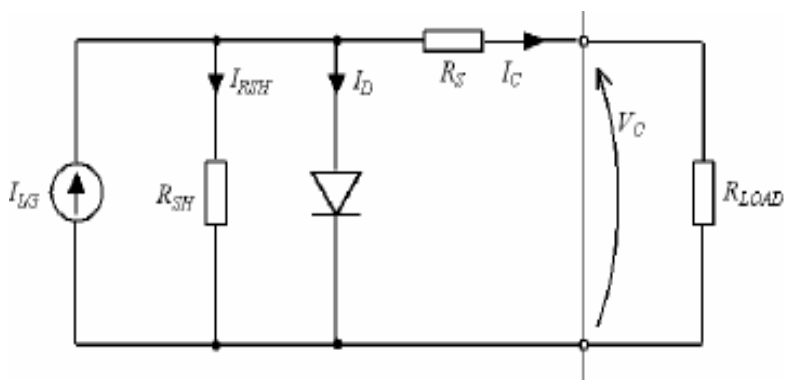


3.12. ábra Napelem modul jelleggörbéje a besugárzás függvényében (forrás: Solarpraxis, AG Berlin)



3.13. ábra Napelem modul jelleggörbéje (Solarpraxis AG, Berlin)

A fotovoltaikus rendszer jellemzéséhez szükséges a modul áramerősség-feszültség jelleggörbéjének ismerete, amelyet általában a gyártók megadnak. Sok esetben a jelleggörbét lehet modellezni vagy egy karakterisztika mérővel is meghatározható. A jelen esetben egy modell leírását ismertetem, amely egy helyettesítő áramkörre az ún. egy diódás modellre épül. Az áramkört a 3.14. ábra szemlélteti.



3.14. ábra Egy diódás modell helyettesítő áramköre

Az áramkör két ellenállást is tartalmaz, amely az eszköz belsejében fellépő veszteségekre utal, a sorosan kapcsolt ellenállás tartalmazza az érintkezési és egyéb ellenállásokat, míg a párhuzamosan kapcsolt ellenállás az elem belsejében a diffúziós veszteségeket a töltés rekombinációját írja le. A karakterisztika az alábbi egyenlettel írható le (Farkas, 2003, Lawrence, 1994, Sukamongkol et al 2002):

$$I_c = I_{sc} G_N + I_T (T_c - T_R) - I_D - (V_c + I_c R_s) / R_{SH} \quad (3.3)$$

ahol: I_c - modul áramerősség (A)

V_c -modul feszültség (V)

I_{sc} - rövidzárási áramerősség STC környezetben (A)

G_N -besugárzás értéke (W/m^2)

I_T - a rövidzárási áram hőmérséklet állandója, ($A/^\circ K$),

T_c - modul felületi hőmérséklet ($^\circ K$)

T_R -a modul referencia hőmérséklete ($^\circ K$)

I_D - dióda áram (A)

R_s a soros ellenállás értéke (Ω)

R_{SH} a párhuzamos ellenállás értéke (Ω)

A fenti egyenlet megoldása nehézkes ezért Rauschenbach egy egyszerűsített formát használ:

$$I = I_{sc} \{ 1 - k_1 [\exp((k_2 V^m) - 1)] \} \quad (3.4)$$

ahol k_1 és k_2 értéke állandók, és az alábbi algoritmus alapján határozhatók meg:

$$k_1 = 0.01175$$

$$k_4 = \ln\left(\frac{1+k_1}{k_1}\right); k_2 = \frac{k_4}{V_{oc}^m} \quad (3.5)$$

$$k_3 = \ln\left[\frac{I_{sc}(1+k_1) - I_{mpp}}{k_1 I_{sc}}\right];$$

$$m = \frac{\ln \frac{k_3}{k_4}}{\ln \frac{V_{mpp}}{V_{oc}}} \left\{ 1 - K_1 [\exp((K_2 V^m) - 1)] \right\}$$

ahol:

I_{mpp} a maximum teljesítménynek megfelelő áramerősség,

V_{mpp} a maximum teljesítménynek megfelelő feszültség,

I_{sc} rövidzárási áram,

V_{oc} üresjárás feszültség.

A hőmérsékletváltozás hatását a feszültség, illetve az áramerősség változására az alábbi egyenletekkel fejezzük ki:

$$\begin{aligned} \Delta T_c &= T_c - T_{STC} \\ \Delta I &= \alpha_{scT} \left(\frac{G}{G_{STC}} \right) \Delta T_c + \left(\frac{G}{G_{STC}} - 1 \right) I_{SC,STC} \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\Delta V = -\beta_{ocT} \Delta T_c - R_s \Delta I$$

$$V_{new} = V_{STC} + \Delta V$$

$$I_{new} = I_{STC} + \Delta I$$

Az egyenletben a hőmérsékletváltozást a modul hőmérséklet és a környezeti hőmérséklet változásával határozzuk meg, figyelembe véve a normál működési hőmérséklet értékét (NOCT), amely 45 °C és a gyártó által megadott referencia hőmérséklet értékét, ami jelen esetben 20°C. A mérések AM 1.5 sugárzási viszonyokra érvényesek, így a modul hőmérséklete:

$$T_c = T_a + \frac{G}{800} (NOCT - T_{a,ref}) \quad (3.7)$$

ahol, T_a - a környezeti hőmérséklet,

G - a sugárzás intenzitás,

$T_{a,ref}$ - a modul referencia hőmérséklete.

3. Anyag és módszer

A kísérletek során egy Kyocera KC 40-es PV modult használtam, amely tulajdonságai az alábbiak:

Maximális teljesítmény: 43 W_p

Hatásfok, modul/cella: 13/16%

Rövidzárási áram: 2,65 A

Nyílt feszültség: 21.7 V

Maximum teljesítményhez tartozó feszültség: 17,4 V

Maximum teljesítményhez tartozó áramerősség: 2,48 A.

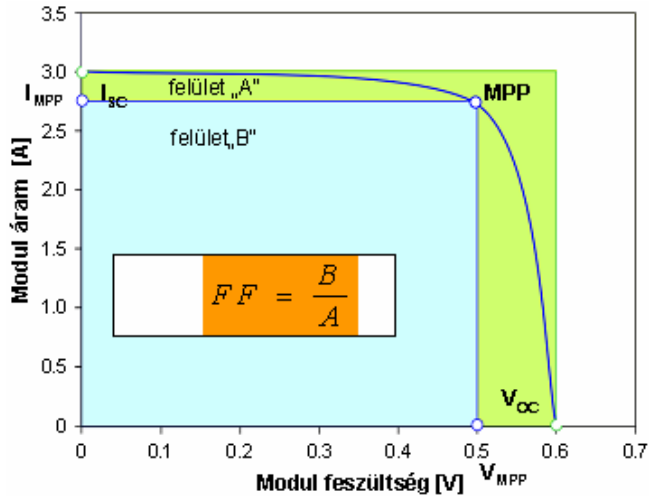
A gyakorlatban hordozható műszereket alkalmaznak a fotovillamos modulok áramerősség-feszültség jelleggörbéjének a meghatározására. Egy ilyen műszer a PV Engineering által gyártott karakterisztika mérő.

A kísérleteim során egy kis amorf modult és a hibrid rendszer kifejlesztésekor használt KC 40 modult teszteltem. Az eredmények a melléklet 8.4. pontjában láthatók. A mérések során meghatároztam a fotovillamos modul paramétereit továbbá a kitöltési tényező értékét. A kitöltési tényező a napelem belső veszteségeit írja le, és az értékét az alkalmazott nyersanyagok és gyártási technológia minősége is befolyásolja.

A szabványosított körülmények (STC) között mért maximális teljesítmény értéke a napelem csúcsteljesítménye. A valóságban ez az érték magasabb lehet, ha a besugárzás értéke nagyobb a STC körülményekre utaló értéknél és a hőmérséklet 25°C-nál alacsonyabb. A teljesítmény idealizált felső határa V_{oc} és I_{sc} szorzata, míg a maximális értéke a V_{MPP} és I_{MPP} szorzatával határozható meg. E paraméterek ismeretében a 3.8 egyenlettel meghatározható a kitöltési tényező:

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.8)$$

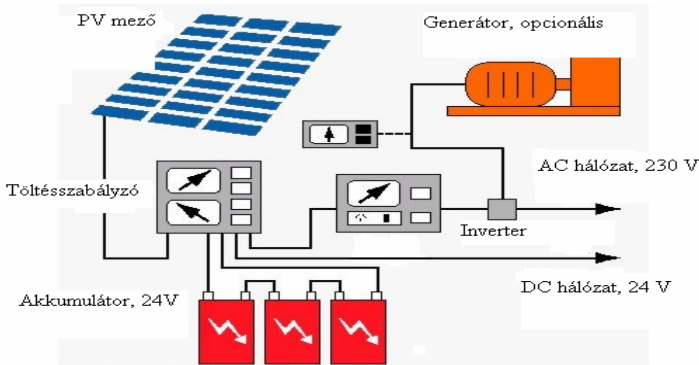
A jónak számító kitöltési tényező értéke egykristályos szilícium esetében 0.85 körüli, míg a vékonyréteg technológiával gyártott elemeknél 0.7 körüli. A tényező értéke meghatározható a 3.15. ábrán megadott területek arányával is. A méréskor használt napelem anyaga polikristályos Si, amelynek a kitöltési tényező értéke 79.5%, míg az amorf Si esetében ez 74% körüli. A méréskor kapott eredményeim mindkét esetben megközelítik a gyártók által megadott értékeket.



3.15. ábra A napelem kitöltési tényezője és I–V jelleggörbéje

3.2.3. Fotovillamos rendszer jellemzése

A gyakorlatban villamos energiatermelésre a szigetüzemű energiaellátó rendszerek esetében napelemes modulokból kialakított paneleket használunk. Egy rendszer tervezése a környezeti paraméterek elemzésével és a teljesítmény igény felmérésével kezdődik. Általában a szigetüzemű rendszereknél az energia igény kis teljesítményű fogyasztók működtetésére vonatkozik, vagyis világítás, TV, rádió, PC és más háztartási fogyasztók: hűtő és stand-by üzemelésű készülékek. A termelt energiafölsleget akkumulátorokban tárolják és a villamos fogyasztók kapcsolátát egy áramátalakító segítségével valósítják meg. A PV rendszer biztonságát és az akkumulátor telep mélykiszülés elleni védelmét a töltésszabályzóval biztosítják. A rendszer egy kiszülés védelmi diódát is tartalmaz, amely megakadályozza, hogy a napelemeken keresztül kiszüljön az akkumulátor telep. A 3.16. ábra egy PV rendszer élvi felépítését szemlélteti.



3.16. ábra Szigetüzemű fotovillamos rendszer felépítése

3. Anyag és módszer

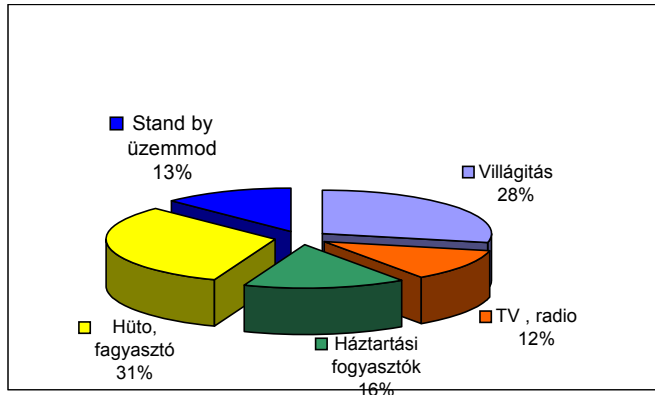
Amint a fenti ábra szemlélteti a PV rendszer keretében három technikai egységet találunk: a PV modul rendszert, amely magába foglalja a fotovillamos modulokat és a tájolást biztosító állványzatot; az energia tárolására szolgáló akkumulátorokat a töltésszabályzót és a fogyasztók ellátását biztosító elosztó egységet továbbá az áramátalakító invertert, amely az AC fogyasztók energiaellátást biztosítja.

A fotovillamos rendszer tulajdonságait egy 1000 Wp csúcsteljesítményű szigetüzemű egység keretében végeztem, amely Kyocera KC 50-es vagy KC 40 napelemekből épül fel és dél tájolású, a panel dőlésszöge 40°. A rendszert napi 2 kWh energiafogyasztásra terveztem. A helyszín sugárzási adatait egy adatbázisból állítottam össze, amely a teljes sugárzás értékét, a dőlt felületre érkező és a visszavert sugárzás értékeit is tartalmazza. A fogyasztók adatai a 3.4. táblázatban láthatók.

3.4. táblázat Fogyasztók adatai

Fogyasztó típusa	Fogyasztók száma, darab	Fogyasztás(W)	Napi működési idő,(h)	Napi energia fogyasztás (Wh)
Világítás	6	18	5	540
TV, rádió	1	75	3	225
Háztartási fogyasztók	1	150	2	300
Hűtő, fagyasztó	1	600	1	600
Stand by üzemmód	1	10	24	240
Össz(Wh/nap)				1905
Össz havi (kWh/hónap)				57,15

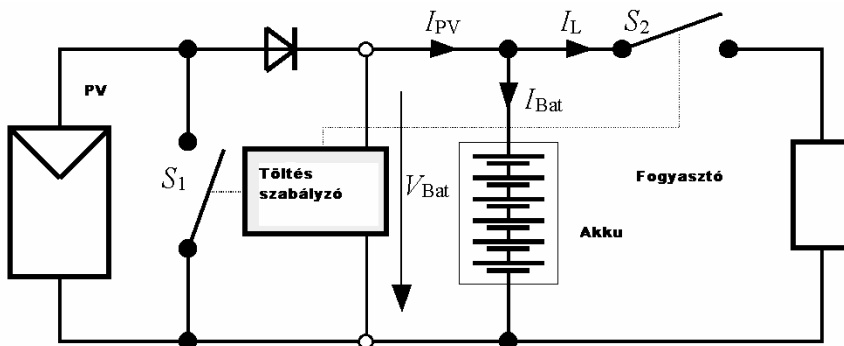
A 3.4. táblázat alapján meghatároztam a készülékek energiafogyasztásának %-os eloszlását, melyet a 3.17. ábra szemléltet.



3.17. ábra A villamos energiafogyasztók %-os eloszlása

Az ábra alapján elmondható, hogy jelentős energia megtakarítást érhetünk el a készülékek stand-by üzemmódjának mellőzésekor. A fogyasztás elemzésekor ajánlott az évszakokénti értékek meghatározása.

A PV rendszer keretében az akkumulátorok biztonságos működését a töltésszabályzó végzi. A gyakorlatban egy töltésszabályzó párhuzamosan kapcsolódhat a fotovillamos rendszerhez. Az a megoldás a gyakoribb. A szabályzó kapcsolása a 3.18. ábrán látható. Ha az akkumulátor telep feltöltődik, a szabályzó az S_1 kapcsolón keresztül rövidre zárja az áramkört, ezáltal megakadályozza az akkumulátor túltöltését. Ugyanakkor a dióda meggátolja az akkumulátor kisülését a PV modulon (Quasching 2006).



3.18. ábra Töltésszabályzó kapcsolása a PV rendszerbe

Abban az esetben, ha a fogyasztás értéke túllépi az előírt értéket a szabályzó az S_2 mágneskapcsolón keresztül lekapcsolja a fogyasztó energia ellátását, ezáltal megvédi az akkumulátort a mélykisüléstől. A töltés értékét tehát a megadott tartományban tartja. A PV rendszerben alkalmazott akkumulátorok a következő tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzenek.

Kisméretű önkisülés

- Jó energiátárolási határfok
- Mélykisütés tűrése
- Széles működési hőmérséklet tartomány
- Hosszú élettartam
- Karbantartás mentesség

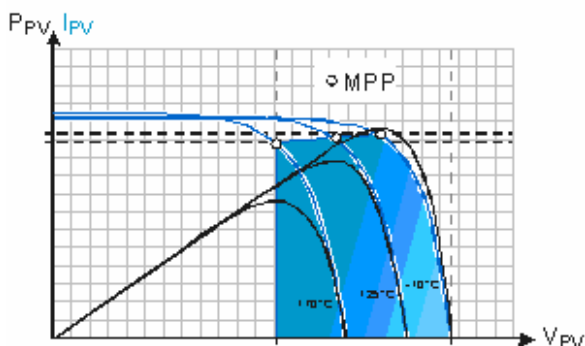
A gyakorlatban egy 1 kWp csúcsteljesítményű fotovillamos energiaellátó rendszert alkalmazunk. A rendszer üzemmentes működését egy energiátároló rendszer biztosítja, amelyhez még egy szélgenerátor is kapcsolódik. A napelemekkel termelhető villamosenergia névleges teljesítményéből és a földrajzi helyszín sugárzási energia átlagértékeiből meghatározható a PV generátor napi átlagos energiatermelése. A fotovillamos energiatermelő rendszer egy kis tanyasi gazdaság energiaszükségletét biztosítja, átlag 2000 Wh/nap energiafogyasztás esetében. A fogyasztók általában 220 V feszültséggel működnek, mivel a rendszerünk 24 V feszültségre méretezett, szükséges egy áramátalakító alkalmazása. Az inverter teljesítményét az egy időben használt fogyasztók összteljesítményével határozzuk meg. Ebben az esetben figyelembe kell venni az átalakítás következtében kialakult veszteség értékét is. A szigetüzemű rendszerekhez alkalmazott átalakító SMA típusú, melynek bemenő paraméterei a működési feszültség minimum és maximum értékére, a maximális bemenő áramerősség és a teljesítményre vonatkozó adatok. A gyakorlatban alkalmazott inverterek hatásfoka 80-95 %. A szigetüzem biztonságos működését úgy biztosíthatjuk, hogy betartjuk az alábbi szabályokat:

Jó tájólással elkerüljük a környezet árnyékolását.

A maximális teljesítmény értéknek (MPP) megfelelő feszültségnek, $+70^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten magasabbnak kell lennie, mint a minimális inverter bemeneti feszültsége (3.19 ábra).

Az inverter maximális bemeneti feszültsége kisebb kell legyen, mint az üresjárás feszültség -10°C hőmérsékleten mért értéke.

Az inverter bemeneti teljesítménye a PV generátor névleges teljesítményének 80-100%-ának kell lennie.



3.19.. ábra A fotovillamos generátor és az inveter működési tartománya

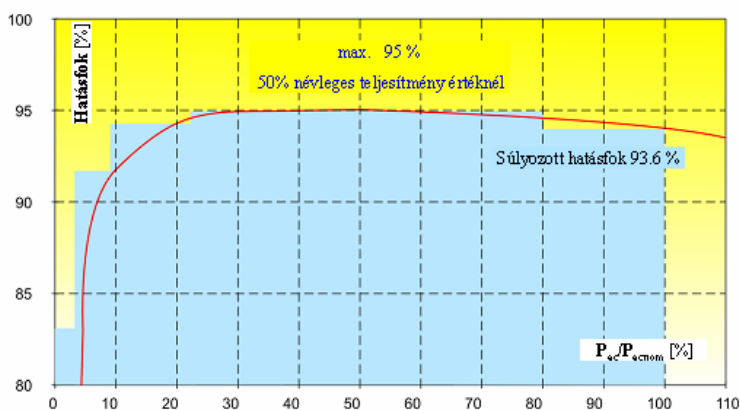
Az inverterek legfontosabb tulajdonsága a hatásfokra vonatkozik, a gyakorlatban az európai súlyozott hatásfokot alkalmazzák, amely alapján jellemezhetjük a

3. Anyag és módszer

rendszerbe illesztett invertert. Ezen hatásfok meghatározására az alábbi egyenletet használjuk:

$$\eta_e = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.20\eta_{100\%} \quad (3.9)$$

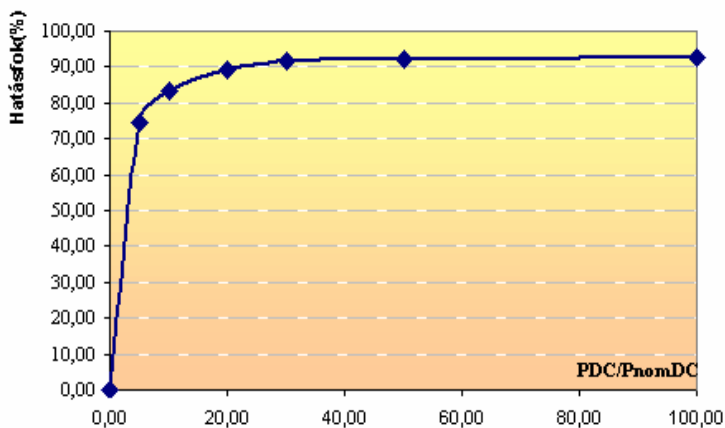
A hatásfok függ az inverter típusától és a teljesítmény változásával arányosan változik, a hatásfoknak 10% névleges teljesítmény értéknél el kell érnie a 90%-ot, míg 50%-os névleges teljesítménynél a maximum értéket. A valóságban ennek az értéke messze elmarad a névleges teljesítménytől. A kapott adatot részleges teljesítmény értéknek nevezzük, ezen értéken működik a gyakorlatban alkalmazott inverterek többsége. Az inverter hatásfokát a 3.20. ábra szemlélteti. A hatásfok görbe a 3.9 egyenletben megadott eloszlással van súlyozva.



3.20. ábra Inverter hatásfoka a terhelés függvényében

A gyakorlatban a hibrid rendszerek esetében akkumulátor invertert használnak pl. SMA Sunny Island típust, amely kompatibilis a helyi hálózattal és kis szélgépek és dízel generátor is rákapcsolható. A berendezés képes arra, hogy fogyasztókat ellásson és különböző generátor rendszerek bekapcsolásával termeljen villamos energiát. A rendszer elvégzi az akkumulátor optimális töltési és kisülési működését, továbbá a szigethálózatra kapcsolt fogyasztók működtetését is. Kis teljesítményű szigetüzemű rendszereknél ajánlott a STECA gyártmányú SOLARIX 900 I típusú inverter alkalmazása, amely névleges teljesítménye 0.9 kW, bemenő névleges feszültség 24 V DC, míg a kimenő feszültség névleges értéke 230 V. A berendezés stand-by fogyasztó, fogyasztása 1.2Wh. A hatásfokgörbéje a 3.21. ábrán látható. Ez a súlyozott hatásfok értékét ábrázolja, amelyet a PV-SOL szimulációs program adatai alapján készítettem. A SMA típusú inverterek segítségével könnyen kialakítható egy decentralizált energiaellátó rendszer. A összetevőket modulok formájában lehet integrálni és tovább bővíthető. Ha több

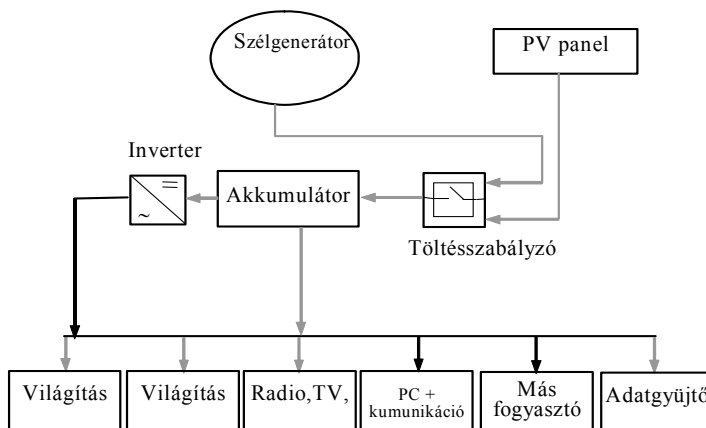
rendszer kapcsolódik egymáshoz a működésben a csapat elv érvényesül, így sokkal nagyobb a hatásfok, és csökkenek az üresjáratú veszteségek. Az eszközben található egy intelligens sziget vezérlési elv, amely képes arra, hogy a fogyasztók ellátását különböző generátorokkal biztosítsa. A rendszerszervezés irányítja az akkumulátorok töltését és kisülését. A rendszerhez modulárisan kapcsolható a Sunny Boy vezérlőegység, mely egyben elvégzi az adatgyűjtést, a rendszervezést és a meteorológiai adatok gyűjtését is. Ez a típusú inverter csak nagyobb rendszerek esetében ajánlott mivel ára elég magas. Az esetben a SORARIX 900 a legmegfelelőbb. Ez könnyen kezelhető, működése biztonságos és költségkímélő. Hatásfok görbét a 3.21. ábra mutatja.



3.21. ábra Steca Solarix 900 inverter súlyozott hatásfok görbéje

3.2.4. A hibrid rendszer alkotóelemei, eszközei

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 3.22. ábra szemlélteti. Az ábrán látható PV generátor mellett egy szélgenerátor is beépül a szigetüzembe (Farkas 2003, Iqball, 2004, Bergnal 2006).



3.22. ábra Hibrid fotovillamos-szél rendszer felépítése

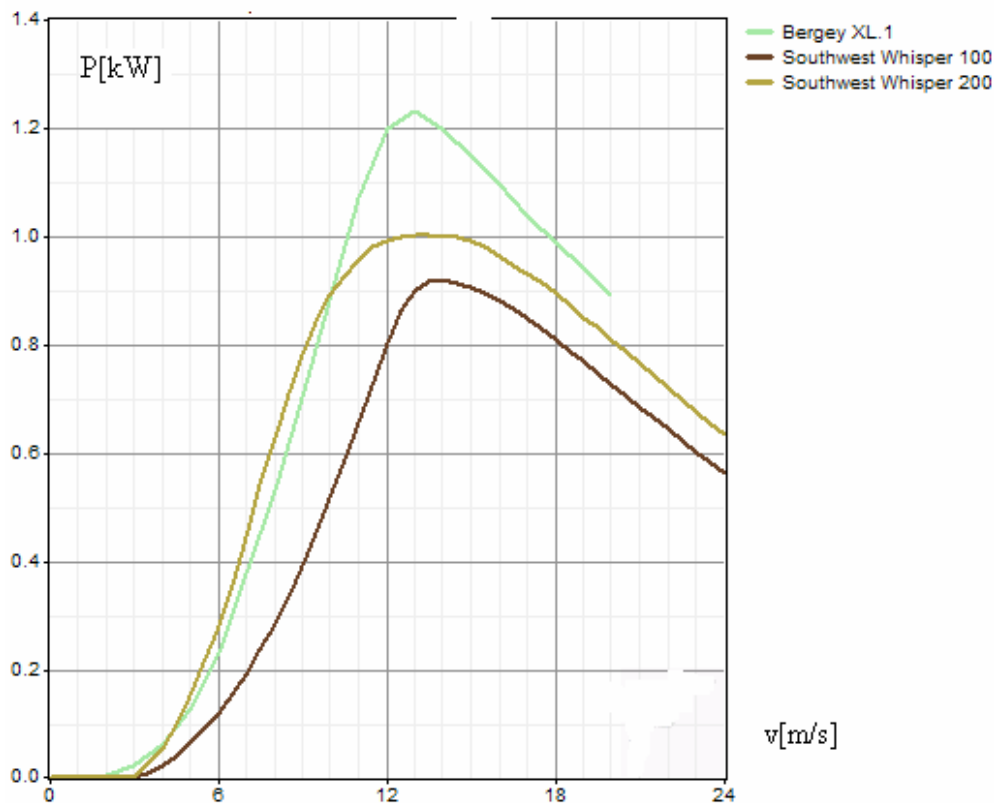
A gyakorlatban a hibrid szigetüzemű rendszerek esetében kis szélesebbeségen induló szélgenerátorokat ajánlott használni. A termelt energiát akkumulátorban tároljuk, míg a fogyasztókat inverter felhasználásával látjuk el megbízható frekvenciájú és feszültségű villamos energiával. Kis teljesítményű generátorok 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. A használt szélgenerátor tulajdonságait hasonló teljesítményű generátorokéval a 3.5. táblázat tartalmazza. A táblázatban a gyártók által megadott értékek jellemzik az adott szélgenerátor tulajdonságait. Az utóbbi időben a gyártó közli a szélgenerátor maximális energitermelését egy adott szélesebbesség havi átlag értékeire. Ezáltal egy helyszín esetében meghatározható az éves energiamérleg. A munkám során széladatok elemzésére felhasználtam a Windographer programcsomagot, amely szintén jelentős információt tartalmaz a kis teljesítményű szélgépek technikai paramétereiről.

3.5. táblázat Szélgenerátorok jellemző adatai

Gyártó	Típus	Lapátkerék átmérő, (m)	Lapát súrolt felület, (m ²)	Névleges teljesítmény, (kW)	Szélesség érték* (m/s)
Bergey windpower	XL 1	2.5	4.91	0.98	11
Power wind turbines	WT 600	2.6	5.11	1	10
Aerocraft	AC 500	2.4	4.52	0.9	8.5
Soutwest Windpower	Whisper H 80	3	7.3	1.5	10.5
Bergey windpower	1500 DP	3.1	7.31	1.5	12.5

*a névleges teljesítményhez tartozó szélesség

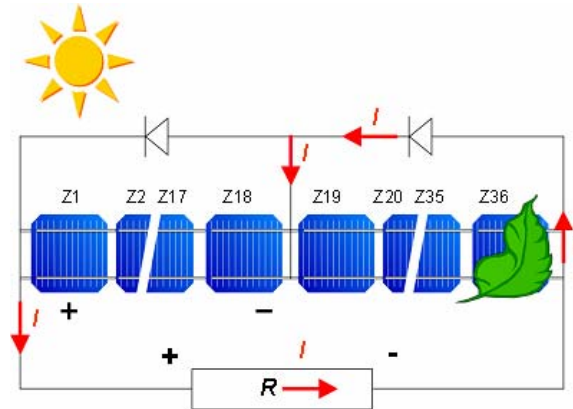
Amint a fenti táblázat szemlélteti, ebben a teljesítmény tartományban olyan szélgépek léteznek, amelyek 8-12 m/s szélesség esetén érik el a maximális teljesítményt. A gyakorlatban még ismert a standard teljesítmény érték használata, amely a rotor által súrolt felület és a 200 W/m² teljesítménysűrűség szorzatával határozható meg. A rotor anyaga általában üveg, szénszállal erősített polipropilén vagy epoxi gyanta. A méréseim során a Bergey Windpower cég által gyártott szélgenerátort használtam, amely Agigean üzemel. A 3.23. ábrán az alkalmazott szélgenerátor teljesítmény-szélesség jelleggörbéje látható összehasonlítva két hasonló generátor karakterisztikájával. A 8.4.5. mellékletben megadott ábra alapján, ismerve a helyszínen a szélesség éves átlagértékét, meghatározhatjuk a generátorkategória energiatermelését. Ezen érték és az adott generátor rotorfelületének szorzata megadja az éves energiahozamot.



3.23. ábra Szélgenerátorok teljesítmény jelleggörbéi

3.2.5. A PV rendszerek telepítésekor alkalmazott környezeti elemzés eszközei módszerei

A fotovillamos rendszerek telepítésekor környezeti elemzést kell végezni. Ismert a forró pont jelenség, amely a részben árnyékolt napelem modulok esetében kis fehér pontok formájában jelenik meg a napelem felületén. A jelenség azzal magyarázható, hogy az árnyékolt cella feszültsége előjelet vált és így terhelésként jelenik meg a többi sorosan kapcsolt cella számára. A napelem cella néhány voltos záró irányú feszültség hatására tönkre is mehet. Mivel a gyakorlatban a részleges árnyékolás nem kerülhető el, a napelemek védelmében a gyártók áthidaló diódákat (bypass) kapcsolnak párhuzamosan a sorba kapcsolt cellák egy-egy csoportjával, amelyek záró irányba vannak bekötve, így normál működéskor nem okoznak veszteséget. Részleges árnyékoláskor a cella polaritása változik, a dióda nyit és az áramot az árnyékolt napelem helyett elvezeti a modul működő része felé. A jelenséget a 3.24. ábra szemlélteti.



3.24. ábra Árnyékolt modul áramvezetése áthidaló diódákkal
(forrás: Solarpraxis AB Berlin)

A jelenség elkerülhető, ha a fotovillamos rendszer tervezéskor elvégezzük a környezetben található épületek, tárgyak, fák árnyékoló hatásának az elemzését. Erre a célra egy nappályaelemző műszert alkalmazunk, amelyre ráhelyezhető a helyszín nappálya diagramja. Az alkalmazott műszert a 3.25. ábra szemlélteti.



3.25. ábra Nappályaelemző, környezeti elemek árnyékoló hatásának vizsgálatához

A műszert úgy alkalmazzuk, hogy a PV rendszer helyzetéből végig pásztázzuk a környezetet, ha valamely tárgyról alkotott kép metszi a helyszínhez készített nappályadiagram görbéjét, akkor a metszéspontnak megfelelő hónapban és időpontban a látott tárgy a PV rendszerünkön árnyékot okoz. A nappálya diagramot egy matematikai modell alapján készítettem el, a számítási algoritmus koordinátái a 8.6. mellékletben találhatóak. A program DELPHI nyelvezetben készült, és ismerve a helyszín földrajzi adatait, elkészíthető a diagram téli illetve nyári periódusra. A módszer a napgeometria adatai alapján határozza meg a napmagasság szögét és az azimut szög értékét (DIN 5034). Az első lépésben meghatározzuk az adott időpont

3. Anyag és módszer

napszögét (y'), amely a választott nap sorszáma (nr nap) és az év összes napjainak az aránya.

$$y' = 360 \frac{nr.nap}{365} \quad (3.10)$$

A továbbiakban meghatározzuk a deklinációs szög értékét

$$\delta(y') = \{(0.3948 - 23.2559 \cos(y' + 9.1) - 0.3945 \cos(2y' + 5.4) - 0.1764 \cos(3y' + 105.2))\}, [^\circ] \quad (3.11)$$

Az időegyenlet a következő alakban írható fel:

$$eqt(y') = [0.0066 + 7.3252 \cos(y' + 9.1) - 0.3915 \cos(2y' + 5.4) - 0.1764 \cos(3y' + 105.2)]$$

A helyi időpont átlag értékét (MLT) a földrajzi szélesség (λ) és az időzóna(TZ) függvényében határozhatam meg:

$$MLT = LT - TZ + 4\lambda, [perc]$$

A szoláris idő (ST) értéke:

$$ST = MLT - eqt(y') \quad (3.12)$$

az óraszög értéke:

$$\varpi = (12 - ST)15$$

Továbbá a napmagasság szöge a helyszín földrajzi koordinátái alapján (hosszúság, φ) pedig:

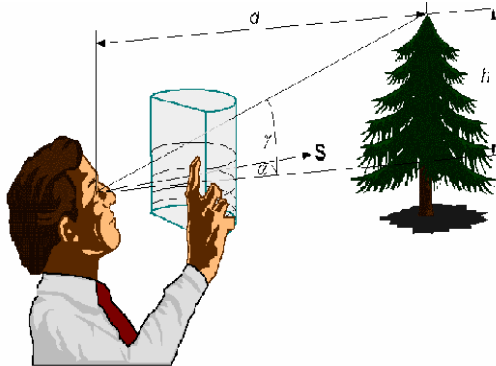
$$\gamma_s = \arcsin(\cos \varpi \cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta)$$

Az ennek az értéknek megfelelő azimut szög értéke

$$\alpha_s = \begin{cases} \left\{ 180 - \arccos \frac{\sin \gamma_s \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cos \varphi}, ha ST \leq 12 \right. \\ \left. 180 + \arccos \frac{\sin \gamma_s \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cos \varphi}, ha ST \geq 12 \right. \end{cases} \quad (3.13)$$

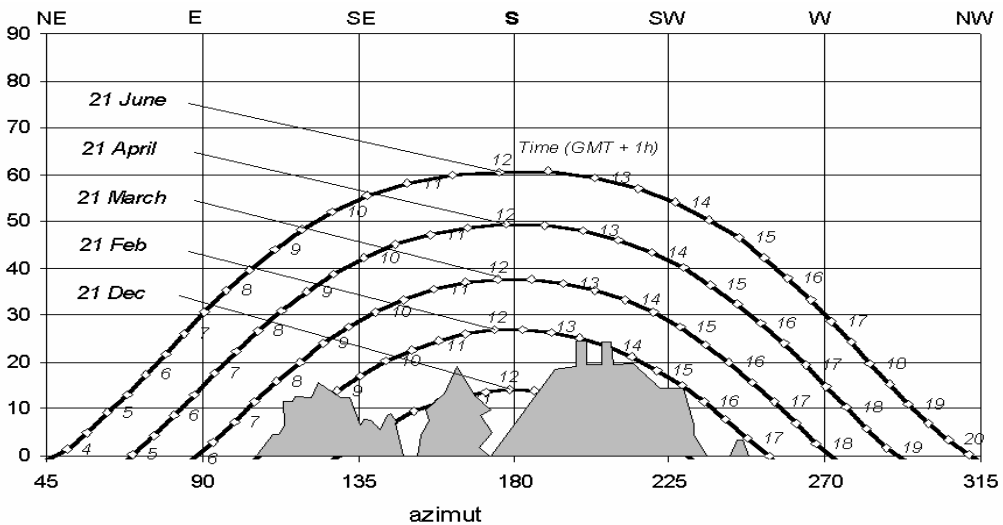
3. Anyag és módszer

A fenti algoritmus szerint meghatároztam a nappálya diagramot, és a PV rendszert árnyékoló környezeti tárgyak magasságát felhasználva, a 3.26. ábrán látható módszer szerint elemeztem a környezetet. Az akadály magasságát, amely metszi az adott időpontban és periódusban a diagramot, megjelöltem.



3.26. ábra Nappálya diagram elemző alkalmazása a környezeti árnyékoló tárgyak meghatározására

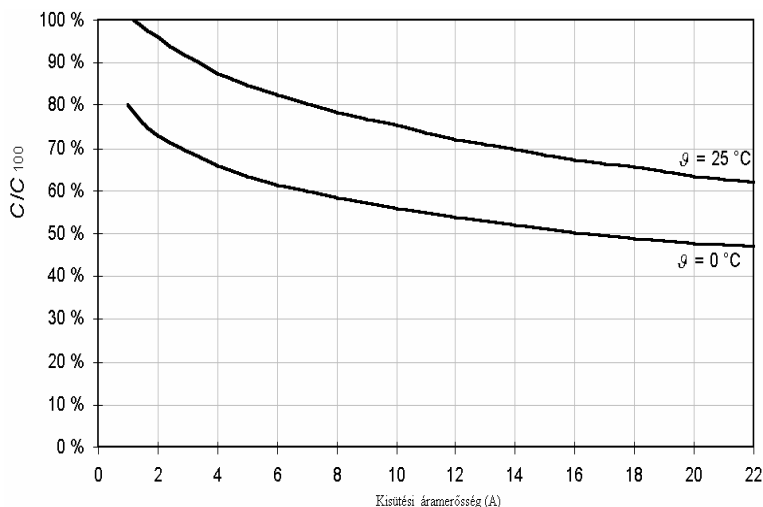
Ismerve a metszéspontokat, meghatározhatom a PV rendszert árnyékoló tárgyak koordinátáit, amint a 3.27. ábra mutatja.



3.27. ábra Nappálya diagram és az árnyékolást okozó tárgyak, épületek kölcsönhatása

3.2.6. Híbrid rendszer energia fogyasztóinak villamosenergia ellátó vezérlőrendszere

A fotovillamos energiaellátó rendszerek a termelt, fel nem használt energiát akkumulátor telepekben tárolják. Az akkumulátorok kihasználható kapacitása függ a fogyasztók áramfelvételétől, vagyis a kisülési áramerősségtől. Amint a 3.28. ábra szemlélteti, a kapacitás csökken az áramerősség növekedésével. Az adatok egy 100 Ah kapacitású akkumulátorra vonatkoznak.



3. 28. ábra Egy 100 Ah kapacitású akkumulátor kisütési diagramja

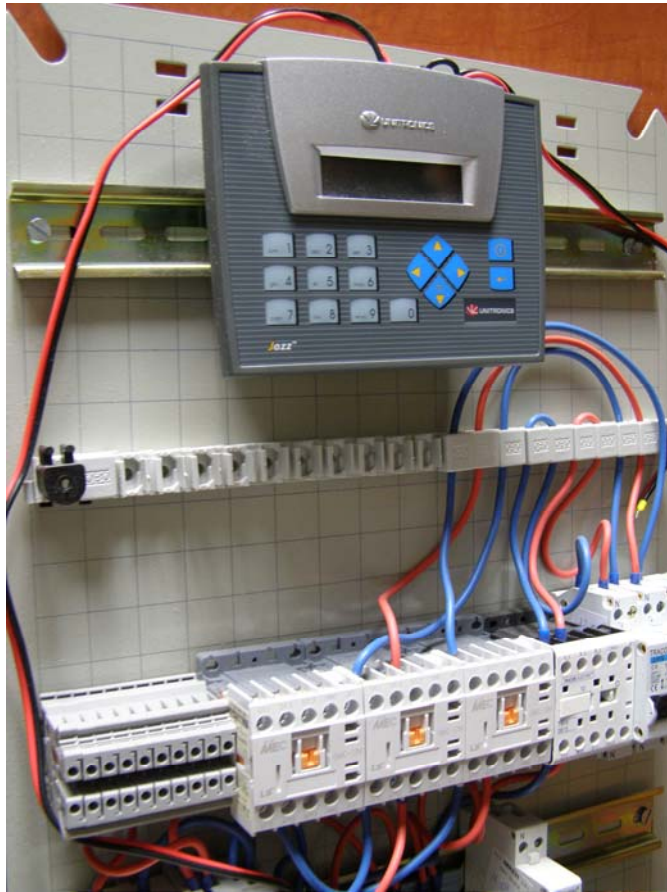
Látható, hogy a hőmérséklet változás is befolyásolja a kapacitás értékét, a C_{100} érték a 100 óra kisütési idő elteltével elért kapacitás érték. E paraméter alkalmazható a különböző akkumulátorok tulajdonságainak a tanulmányozásakor. A gyakorlatban az akkumulátor töltés állapota (SOC) egyik fontos tényező a tároló rendszer jellemzésére, függ a cellafeszültségtől és az akkumulátorban jelenlévő kénsav sűrűségétől. A 12 V cellafeszültségű akkumulátor esetében e tulajdonságokat a 3.6. táblázat ismerteti [1].

3.6. táblázat 12 V-os akkumulátor tulajdonságai

SOC (%)	100	75	50	25	0
U _{BAT} (V)	12.7	12.4	12.2	12	11.9
ρ H ₂ SO ₄ (kg/m ³)	1.265	1.225	1.190	1.115	1.11

Az adatok alapján látható, hogy egy biztonságosan üzemelő rendszer esetén a töltés állapot 80% körüli, amely megvédi a tárlótelepet a mélykisüléstől. Ismerve a telep feszültség értékét működés közben, melyet egy PLC adatgyűjtő mér egy feszültség osztóról, kialakíthatunk egy integrált energia-elosztó rendszert, amely a fogyasztók működtetését végzi. A szakirodalom szerint a cella feszültségek adatai alapján a SOC paraméter értéke meghatározható. Ez jellegzetes paraméter, amely alapján megalkotható egy algoritmus, amely a fogyasztók, ki-bekapcsolását végzi a PLC segítségével. A vezérlést végző berendezést a 3.29. ábra szemlélteti. A PLC Unitronics Jazz típusu berendezés mindent tud, amit egy intelligens relé tudhat. Programozása a létrakódos, scan ciklusok végrehajtásával működik, amely az adatbeolvasással kezdődik, majd a program végrehajtása következik. Ez utasításokból áll, amely a PLC saját létradiagramos nyelvezetén íródott (8.7 melléklet). Végül a kimenetek frissülnek az új adatokkal. A program az energiafogyasztás optimalizálására irányul, megvédve ezáltal a tárolót a

mélykísülésétől. A fogyasztók ki és bekapcsolását a PLC (unitronics.com) vezérli, folyamatosan követve az akkumulátor feszültségét.



3.29. ábra A fogyasztók vezérlését végző PLC berendezés

A beltéri és kültéri világítást végző égők áramkörei, a TV, rádió és a PC, illetve a hűtőgép egy-egy mágneskapcsolón keresztül kapcsolódnak a rendszerhez. A megadott algoritmus alapján a PLC elemzi az akkumulátor telepen mért feszültség értékét és ennek függvényében prioritás szerint engedélyezi a működésüket. Továbbá, havonta egy alkalommal elvégzi az akkumulátor telep teljes gáztalanítását, amikor minden fogyasztót lekapcsol, és csak sürgősségi eseteket engedélyez. Ezáltal túltölti az akkumulátort, a keletkezett gázok fölkavarják az akkumulátorsavat így megakadályozzák a folyadék rétegződését. Mindezek hozzájárulnak az akkumulátor telep élettartamának a növekedéséhez. Ebben a fejezetben bemutatott eszközök, módszerek mind hozzájárultak a kísérleteim sikeres elvégzéséhez és a modellek kidolgozásához.

4. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek a kutatás keretében végzett mérések és modellezések adatai, melyeket felhasználtam az új tudományos eredmények megállapításakor. A mérések a Fekete-tenger melletti Agigea helysége vonatkoznak, továbbá a Duna Sulina ágán levő világítótorny méréseit is szemléltetik. Sulina jellegzetessége, hogy az EU legkeletibb pontja. Részletes elemzésre kerülnek:

A helyszín meteorológia adatainak a jellemzése.

A szélesebességek felhasználásával a szélpotenciál meghatározása.

Kis teljesítményű szélgépek energiatermelése.

Kanalas szélesebességmérők vizsgálata.

A napsugárzási adatok elemzése.

A két zöld energiaforrás időbeni változása és kapcsolata.

A fotovillamos rendszer elemzése, a várható energiatermelés meghatározása.

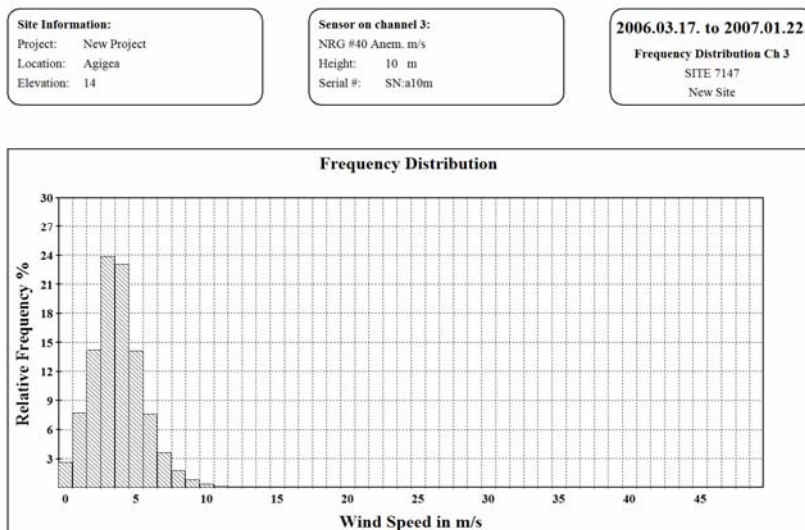
A fotovillamos és szélenergiát hasznosító hibrid rendszer elemzése, várható energiamérlege.

4.1. Meteorológiai helyzetelemzés

4.1.1. Szélesebesség adatok elemzése

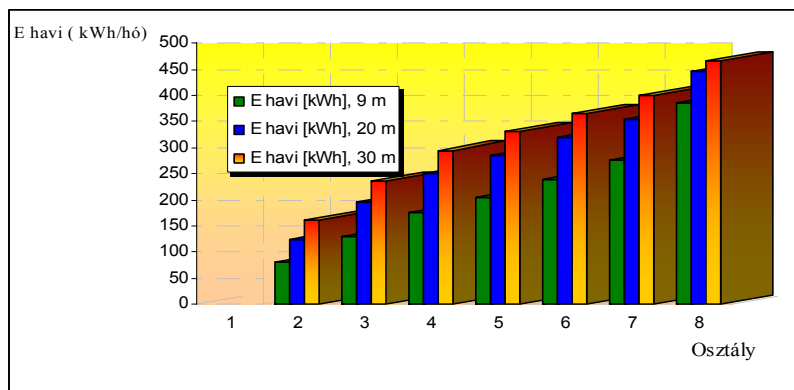
A méréseket a Fekete-tenger partján fekvő agigeai kísérleti telepen végeztem, ahol üzemel egy nap-, és szélenergia hasznosítására alkalmas rendszer. A szélméréseket egy harminc méter magas oszlopon mérő NRG rendszerrel végeztem, ahol a kanalas szélmérők 10, 20 és 30 méter magasságban mérnek, továbbá a rendszerben még található két széliránymérő is. Az adatokat 1 s mintavételezési idővel végeztem, majd a 10 perces átlagokat rögzítettem az eredményeket órás átlagok formájában, napi és havi bontásban jelenítettem meg. A mért szélirányokat az adott magasságokban szintén rögzítettem. Az adatok grafikus illetve táblázatos formában is megjeleníthetők. Az adatok elemzését egy táblázatkezelő programmal is meghatároztam. A szélesebesség eloszlását havi illetve a mérési időszakokra is elvégeztem a mérési magasságokon. A szélesebesség napi változását a 8.4.7. mellékletben szemléltettem. Amint az adatokból látható, a helyszín alkalmas kis teljesítményű szélgépek telepítésére. A szélesebesség eloszlását 10 m illetve 20 m magasságban a 4.1. és 4.5. ábrák mutatják. Az NRG rendszerrel mért szélesebesség adatokat összehasonlítottam sulinai (EU legkeletibb pontja) adatsorral, amely a kikötőtől 5 km távolságban levő világítótornynál készült, mondhatni a nyílt tengeri övezetben.

4. Eredmények



4.1. ábra Szélsebesség-eloszlás 10 méter magasságban

A 4.1. ábra alapján látható, hogy a domináns szélsebességek e mérési periódusban a $3-5 \text{ m s}^{-1}$ tartományba esnek. Felhasználva a szakirodalomban megadott összefüggéseket, a szélsebesség névleges teljesítménye 50 m magasságban 400 W/m^2 , amely értéket minősítve jó osztályzatú (4.1. táblázat). Az adatokat kiértékeltem a Windographer programcsomaggal is, amely szerint elvégeztem a kapott eredmény minősítését. A mérés sorozat alapján a szélenergia potenciál értéke 83 Wm^{-2} , ami jó minősítést jelent. A 4.2. ábra egy 1 kW_p csúcsteljesítményű szélgenerátor energiatermelését mutatja az adott osztályokban 9, 20 és 30 méter magasságban.



4.2. ábra Névleges széltejesítmény átlag értéke 10 m magasságban

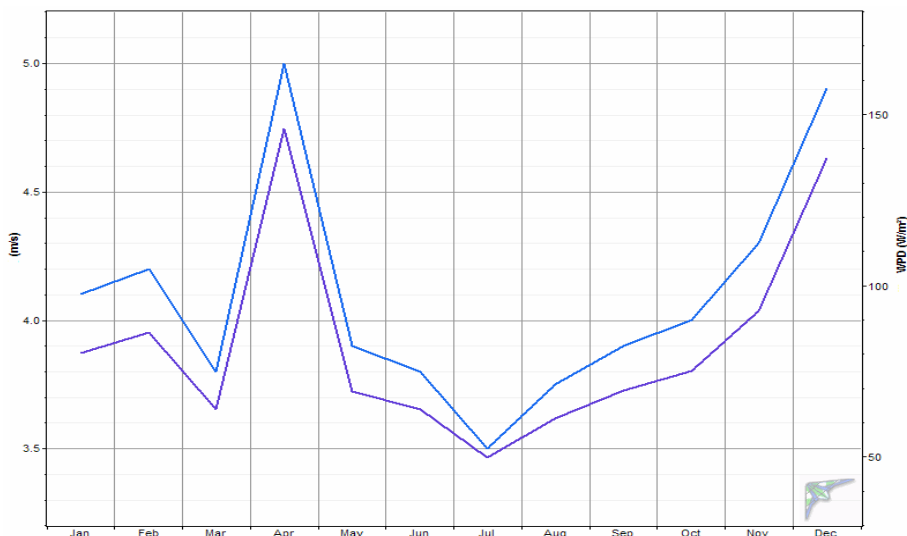
4. Eredmények

Az adatok elemzése alapján 10 m magasságban csak kis sebességen induló szélgenerátor telepítése ajánlott.

4.1. táblázat USA-ban alkalmazott széleenergia osztályok (Elliott 1886)

Teljesítmény osztály	Jellemzés magyar	Jellemzés angol	Átlag teljesítmény sűrűség, 50m magasságra
1	Gyenge	Poor	0-200
2	Csekély	Marginal	200-300
3	Megfelelő	Fair	300-400
4	Jó	Good	400-500
5	Kiváló	Excellent	500-600
6	Kitűnő	Outstanding	600-800
7	Nagyszerű	Superb	800-2000

Az adatfeldolgozáskor meghatároztam e magasságban a szélesebesség változás (kék) és a névleges teljesítménysűrűség (lilla) változását havi bontásban. Az eredményeket a 4.3. ábra szemlélteti.



4.3. ábra Átlagos havi szélesebesség és szélteljesítmény sűrűség

4. Eredmények

A mérési adatokat a 4.2. táblázat tartalmazza

4.2. táblázat Szélsebesség mérési adatok kiértékelése

Hónap	Mérési idő	v átlag	V _{Max}	Std. Dev.*	Weibull k	Weibull c
	(h)	(m/s)	(m/s)	(m/s)		(m/s)
Jan.	744	4,1	12,138	2,1382	2,008	4,6273
Feb.	672	4,2	12,798	2,1915	2,007	4,7403
Már	744	3,8	11,057	1,9804	2,012	4,2897
Ápr.	720	5	14,721	2,611	2,003	5,6417
Máj.	744	3,9	11,77	2,0353	2,007	4,4018
Jún.	720	3,8	11,34	1,9841	2,007	4,2893
Júl.1	744	3,5	9,94	1,826	2,004	3,9487
Aug.	744	3,75	11,022	1,9564	2,007	4,2322
Szep.	720	3,9	12,065	2,041	2,003	4,4026
Okt.	744	4	13,344	2,0958	1,997	4,5138
Nov.	720	4,3	12,983	2,2429	2,007	4,8528
Dec.	744	4,9	14,594	2,5583	2,005	5,5299
	8 760	4,0958	14,721	2,1912	1,951	4,6175

* Az adatok szórása, a turbulencia erősségének mértéke (Tóth 2003)

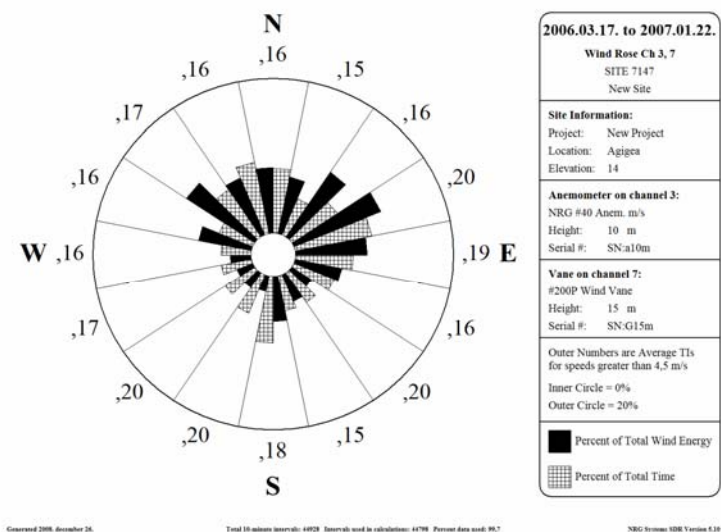
A mérési adatokat az Alwin programmal is kiértékeltem, az eredmények alapján jól látható, hogy az eloszlási paraméterek megfelelnek mind a két esetben. Az adatokat a 4.4. ábra szemlélteti. Az eltérések 5% értéknél kisebbek. A két eloszlás, a Weibull és a Rayleigh, majdnem azonos formájú. A k paraméter adatai alapján az utóbbi a jellegzetesebb. Ezt igazolja a kapott szélsebesség éves átlagértéke is. A fenti adatok alapján meghatározható az éves szélenergia potenciál értéke. Vagyis az átlag szélsebesség érték megközelítőleg egyenlő a Weibull C paraméterrel. Ugyan ez az eloszlás, már 20 m magasságban változó, a Weibull eloszlás k paramétere 50 %-kal nő, a szélminősítése a 4.1. táblázat adatai szerint az 5-ös osztályba sorolható. A szélsebesség eloszlást ezen a magasságon a 4.5. ábra szemlélteti. A szélenergia-termelés céljából célszerű minél magasabbra telepíteni, minden esetben fontos, hogy a sebesség értékét két magasságon határozzuk meg, ezzel a szélprofil is ellenőrizhető. A szakirodalomban alkalmazott 4.1 egyenlet alapján, jó közelítéssel számolni tudjuk a szélsebesség értékét egy adott h₂ magasságban, ha ismert a v₁ sebesség érték a h₁ magasságban:

$$v_2 = v_1 \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}}, (m/s) \quad (4.1)$$

Az amerikai szakirodalomban a gyökkitevő értéke 7, a mérések alapján a kiértékeléskor a mérési adatsor szerint a kitevő értéke $\alpha = 0,343$, (2.3 fejezet, 2.3. ábra). A mérés során meghatározott érték elegendő a további számítások elvégzéséhez.

4. Eredmények

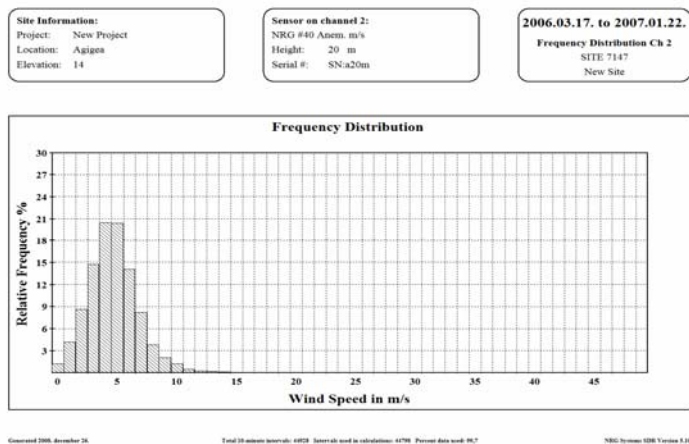
Amint látható, a mérés időszakában az átlag szélesség 4-5 m/s közötti a megadott eloszlás szerint, így a szélpotenciál sűrűség $75\text{-}146\text{ W/m}^2$ között várható, míg az éves energiasűrűség értéke $656\text{-}1281\text{ kWh/m}^2$. Tehát az informatív jellegű mérés során egy képet kapunk a helyszín szélerergia potenciáljáról és a domináló szélirányról. Ismerve a standard eltérés értékét, meghatározhatjuk az adott helyszínen a turbulencia jelenlétét az áramlás során. A 15 m magasságban található széliránymérő adatai felhasználásával készült 4.4. ábra segítségével meghatároztam a domináns szélirányokat ezen településen. Az adatokat a szélirány gyakoriság hisztogramja szemlélteti, amely kör alakú és az egyes irányokat az égtájak alapján meghatározza. A diagram képet alkot az uralkodó szélirányokról.



4.4 ábra. A szélirányok %-os eloszlása a mérési időszakban

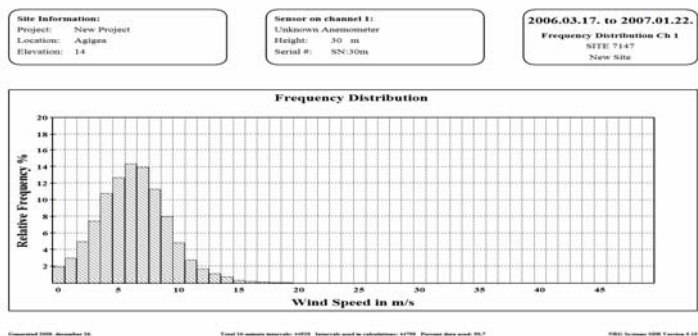
Amint a fenti ábra szemlélteti, az uralkodó szélirányok az északnyugati és az északkeleti. Ez azzal indokolható, hogy a mérési időszak mind a négy évszakot átfogja és a szélirányok változóak, de dominánsak egy adott évszakra. Látható még különösen a tavaszi és a kora nyári időszakra jellemző délkeleti szélirány is. Az áramlás jellegének ismerete nagyon fontos tényező, mivel nagy Reynolds szám esetében a szélgenerátor élettartama csökken. A továbbiakban a 20 és 30 m magasságban mért szélesség eloszlást és a 30 méter magasságban jelenlevő szélirány értékeit szemléltetem (4.5. és 4.6. ábrák). A három magasságban mért szélesség változás elegendő a Hellman tényező meghatározására.

4. Eredmények



4. 5. A szélesebbesség-eloszlás alakulása 20 m magasságban

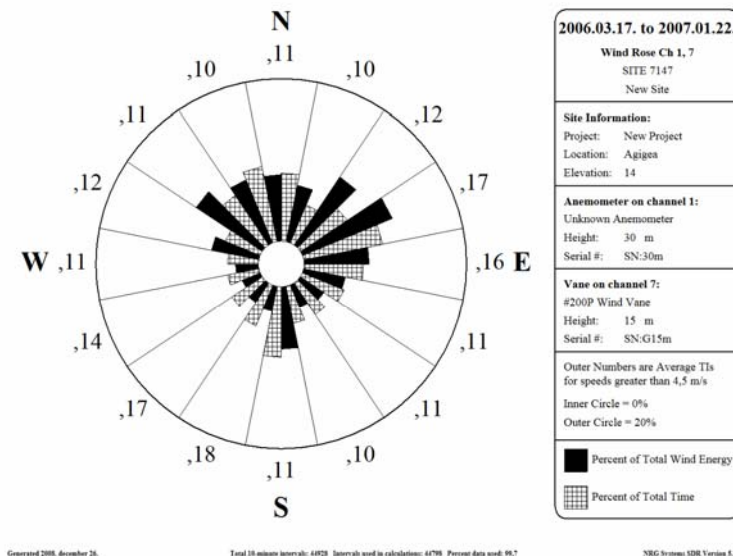
Amint látható a domináló szélesebbesség értékek a mért időszakban 20 m magasságban 5 m/s körüliek, ami 146 W/m^2 teljesítmény sűrűsége utal és az éves energia sűrűség (annual energy density) értéke pedig 1281 kWh/m^2 . Ez az érték nagyobb, mint az előző esetbeli, de a szélenergia potenciál szempontjából azonos osztályba sorolható a 10 méteren kapott értékkel. A szélgenerátor egy szigetüzemű rendszer kertében sok esetben a gyártó által forgalmazott oszlopra szerelhető, amely magassága 10-20 m közötti. Ezért fontos e tartományban a szélesebbesség változás ismerte. A 30 m magasságban kapott értékeket a 4.6. ábra szemlélteti.



4.6. ábra A szélesebbesség-eloszlás 30 m magasságban

4. Eredmények

Ezen a magasságon mért átlag szélesség 6-7 m/s, amely adat alapján a szélpotenciál sűrűség 253-401 W/m² között található, míg az éves energiasűrűség 2114-3515 kWh/m² közötti érték. Ez az adat megközelítőleg a 10 m magasságon kapott potenciál 2-4 szerese is lehet. Így a kapott eredmények alapján látható, hogy a magas oszlop használata javítja a szélgenerátor energiatermelését, de a technikai megoldást gazdasági és környezeti tényezők akadályozzák. A szélirány alakulása a mért időszakban a 4.7. ábrán látható.



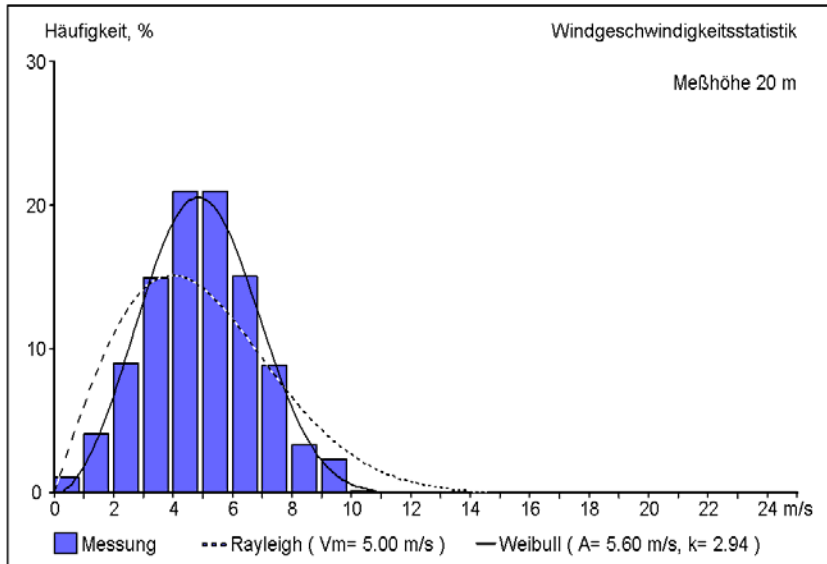
4.7. ábra Szélirányok alakulása a mérési periódusban

A 4.7. ábra mutatja, hogy a szélirányok %-os eloszlása hasonló a 10 m magasságon mértékhez. Összegezve, láthatjuk, hogy a kis szélgépek telepítésekor az informatív jellegű szél mérés alkalmas a hatástanulmány elkészítéséhez, a használt eszköz sok adatot szolgáltat a helyszín szélpotenciál értékének a meghatározásában, de nem adja meg pontosan az eloszlási paramétereket. Ezért a kapott adatokat még kiértékeltem az Ammonit cég ALWIN, programcsomagjával is. Az eredményeket a 4.8. és 4.9. ábrák szemléltetik.

4. Eredmények

Standort:
Agigea
 Meßbeginn: 2006.03

Höhe ü. NN: 0 m
 Temperatur: 15.0 °C
 Messungen: 0 Tage (à min.)

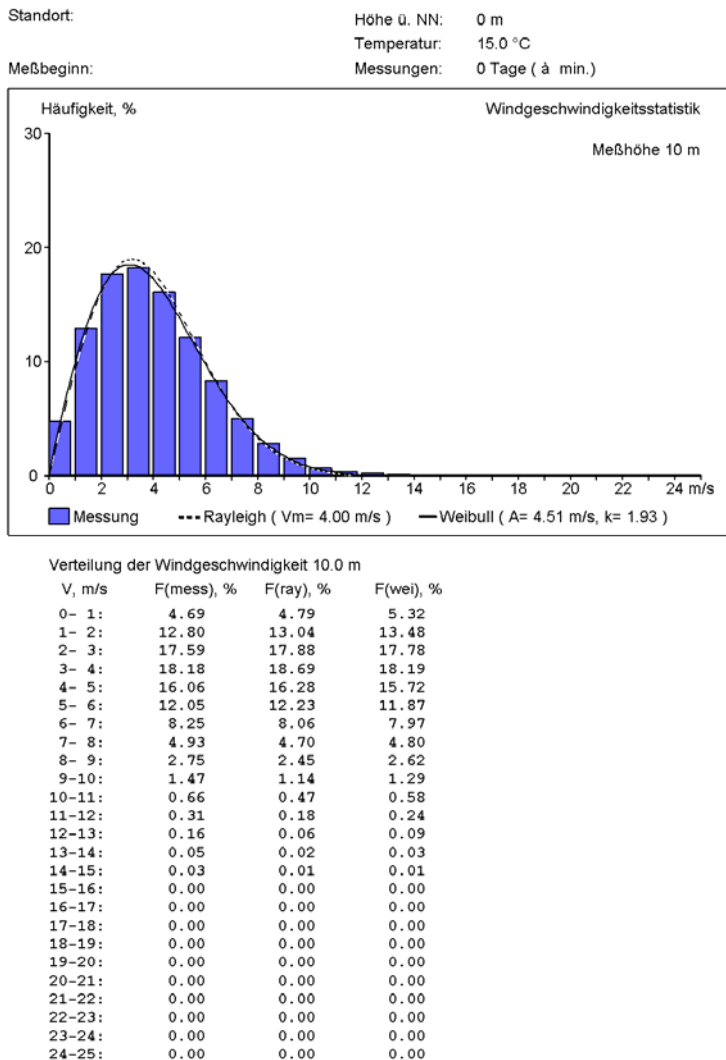


Verteilung der Windgeschwindigkeit 20.0 m

V, m/s	F(mess), %	F(ray), %	F(wei), %
0- 1:	1.00	3.09	0.63
1- 2:	4.00	8.72	4.10
2- 3:	8.90	12.82	10.02
3- 4:	14.90	14.88	16.30
4- 5:	20.90	14.90	20.11
5- 6:	20.90	13.32	19.46
6- 7:	15.00	10.82	14.82
7- 8:	8.80	8.06	8.79
8- 9:	3.25	5.54	3.99
9-10:	2.25	3.53	1.36
10-11:	0.10	2.09	0.34
11-12:	0.00	1.15	0.06
12-13:	0.00	0.59	0.01
13-14:	0.00	0.28	0.00
14-15:	0.00	0.13	0.00
15-16:	0.00	0.05	0.00
16-17:	0.00	0.02	0.00
17-18:	0.00	0.01	0.00
18-19:	0.00	0.00	0.00
19-20:	0.00	0.00	0.00
20-21:	0.00	0.00	0.00
21-22:	0.00	0.00	0.00
22-23:	0.00	0.00	0.00
23-24:	0.00	0.00	0.00
24-25:	0.00	0.00	0.00

4.8 ábra Szélsebesség-eloszlás 20 m magasságban

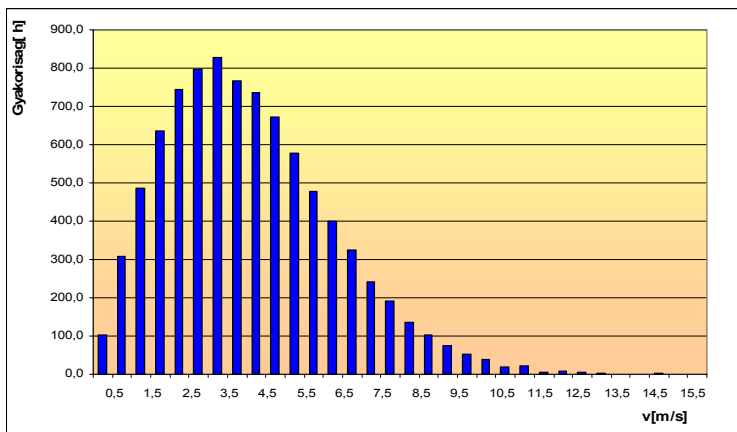
4. Eredmények



4.9. ábra Szélsebesség-eloszlás 10 m magasságban

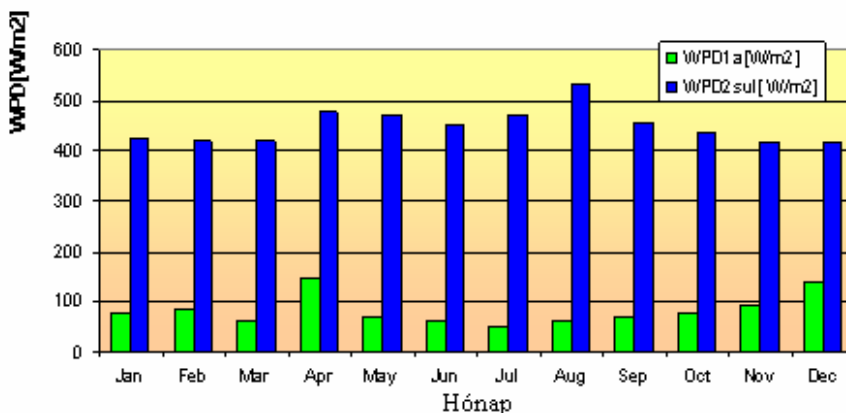
Az ábrák alapján az eloszlásfüggvény paramétereit is meg tudjuk határozni, amelyre az NRG program nem ad választ. Felhasználva mindkét program eredményeit, valós képet alkothatunk az adott helyszín szélpotenciáljáról, a szélsebességek és a szélirányok értékéről és az eloszlást leíró függvények paramétereiről.

Mivel a kisteljesítményű szélgépek általában 10-20 m közötti magasságon működnek, ez a két sebességeloszlás elegendő a szélpotenciál elemzéséhez. A szélsebesség időbeni gyakoriság-eloszlás adatait kiértékeltem, az eredmények a 4. 10. ábrán láthatók.



4.10. Szélsebesség időbeni eloszlása

A kapott eredményeket összehasonlítva a sulinai mérésekkel, látható, hogy akadálymentes környezetben a szélteljesítmény értéke magasan fölülmúlja a szárazföldi méréseket. Az adatokat a 4.11. ábra tartalmazza.



4.11. ábra Szélenergia teljesítmény havi változása Agigea és Sulina helyszíneken

Az ábra alapján látható, hogy a sulinai helyszín sokkal megfelelőbb a szélgép telepítéséhez, mivel a szélpotenciál az agigeai helyszínhez viszonyítva jóval magasabb. Így a termelt energia értéke is jelentősebb lehetne. Egyetlen akadálya a telepítésnek, hogy helység a Natura 2000 része, ezért szélgép telepítése kizárólag környezetvédelmi hatástanulmány elvégzése után lehetséges.

4. 1. 2. Kis teljesítményű szélgenerátorok energiatermelése

A fenti adatok ismerete fontos a szélgépek energiámérlegének a meghatározásához. Ha ismerjük egy adott szélgép teljesítmény-szélsebesség jelleggörbéjét a megadott eloszlás alapján meghatározható a szélgép éves energiatermelése, az adott

4. Eredmények

sebességhez tartozó teljesítmény és a gyakoriság szorzataként. A hibrid rendszer kialakításakor egy olyan szélgenerátorra van szükségünk, amely az előzőleg meghatározott szélviszonyok közt hatékonyan működik. A szélgenerátor átlagos teljesítményét a 4.2. összefüggés határozza meg:

$$P_g = P_{Gn} K_f = \eta \frac{\rho}{2} A v_n^3 K_f \quad (4.2)$$

ahol a K_f a kihasználási tényező, amely értéke kontinentális viszonyok közt 20% körüli, a P_{gn} a szélgép névleges teljesítménye. Az éves energiatermelést a 4.3 összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$E = P_g t = P_{Gn} K_f 8760 \quad (4.3)$$

A Widographer programmal meghatároztam több típusú, azonos névleges teljesítményű szélgenerátor energiatermelését a megadott szélviszonyokra. Az eredmény a 4.3. táblázatban látható.

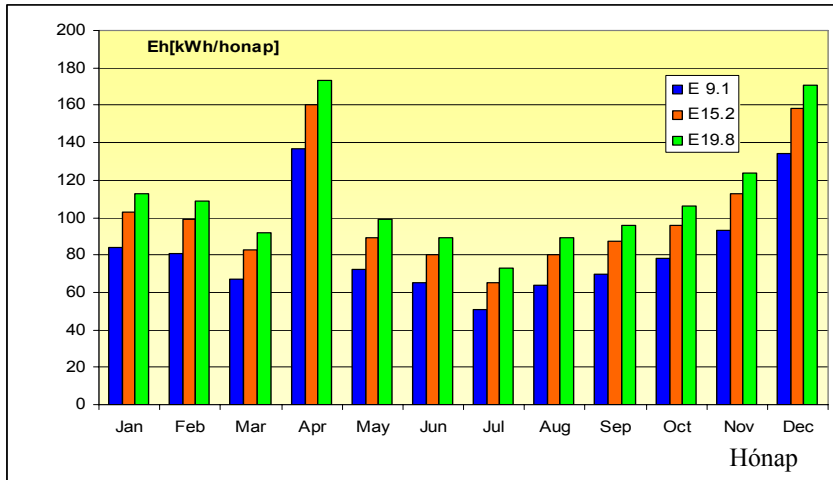
4. 3. táblázat Különböző típusu szélgenerátorok energiatermelése

Generátor típus	Mérési időtartam	Oszlop magasság	Szélsebesség az oszlop magasságban	Éves nettó energiatermelés	Teljesítménytényező
	(h)	(m)	(m/s)	(kWh/év)	(%)
Bergey XL.1	8 760	30	4,77	1433	16,4
Bergey XL.1	8 760	18	4,44	1194	13,6
Bergey XL.1	8 760	10	4,09	957	10,9
Bergey XL.1	8 760	20	4,51	1240	14,2
Southwest Whisper 200	8 760	9,1	4,04	996	11,4
Southwest Whisper 200	8 760	15,2	4,34	1212	13,8
Southwest Whisper 200	8 760	19,8	4,5	1333	15,2

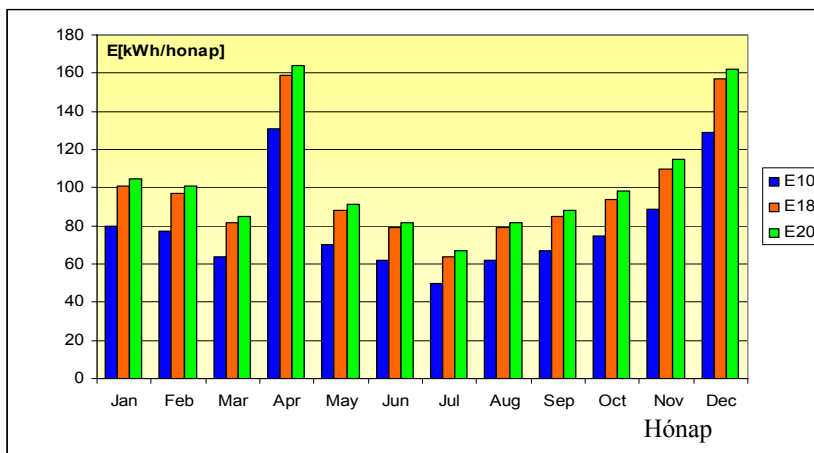
A kísérleti adatok alapján a magasság növekedésével növekszik a szélgenerátor éves energiatermelése, ez növekedés elérheti az 50%-ot is. Ezért fontos elemezni a beruházás gazdasági oldalát is, hisz magas oszlopzat alkalmazása és ennek hatósági engedélyeztetése többletköltséggel jár, amely meghaladhatja a többlet energiatermelésből adódó nyereség értékét. Havi bontásban a generátorok

4. Eredmények

energiatermelése a 4.12. illetve a 4.13. ábrán láthatók, az oszlopdiaagramok a megadott magasságokra vonatkoznak.



4.12. Southwest Whisper 200 szélgenerátor havi energiatermelése



4.13. Bergey XL.1. szélgenerátor havi energiatermelése

4.1.3 .Kanalas szélességmérők szélcsatornás mérése

Minden mérés - jellegétől függetlenül - az érzékelők kalibrálásával kezdődik. Az anemométerek kalibrálása egy szélcsatornában valósult meg. Maga a szélcsatorna a ventilátor és ezt vezérlő frekvenciaváltóból, a mérőcsatornából és a hozzá kapcsolódó érzékelőkből és adatgyűjtőből tevődik össze. Méréseim során egy Gunt oktatási célokra készült szélcsatornát használtam. A szélességek 0-28 m/s tartományban merhetők, maga a szélcsatornarész négyzet alakú és mérete 298x298

4. Eredmények

mm, az áramlást létrehozó levegő hozama $9000 \text{ m}^3/\text{h}$ és a csatornához csatlakozó differenciál nyomásmérő 0-500 Pa tartományban mér.

A pontos mérés alapja a hiteles érzékelők alkalmazása. Szélmérés sorozat kezdése előtt ajánlott az érzékelők kalibrálása. A méréseim során már gyárilag kalibrált érzékelőt használtam. A kísérletekben a NOVA szélmérőrendszerét tesztelem egy oktatási célokat szolgáló szélcsatornában. Rögzítettem a nyomás és a hőmérséklet értékét, és ezek segítségével meghatároztam a levegő sűrűségét. A ferdecsoves manométeren leolvasott értéket átszámoltam légsebesség értékre. A számítást az alábbi összefüggésekkel végeztem.

A szélesebesség értéke:

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, [m/s] \quad (4.4)$$

A sűrűség változását a nyomás és a hőmérséklet függvényében az általános gáztörvény alapján határoztam meg:

$$\rho = \frac{p}{RT}$$
$$p = 1025, [mbar] \quad (4.5)$$
$$T = 23 + 273, [K]$$

ahol, mint ismert a gázállandó értéke:

$$R = 287 \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

A folyadékoszlop nyomása a ferdecsoves manométerben pedig:

$$\Delta P = l \sin \alpha \rho_{\text{folyadék}} g$$
$$\sin \alpha = \frac{1}{10} \quad (4.6)$$

ahol: l - a leolvasott folyadékoszlop-magasság

α ,-a nyomásmérő dőlésszöge

$\rho_{\text{folyadék}}$ a nyomásmérőben levő folyadék sűrűsége, ha alkohol, akkor a sűrűsége, 800 kg/m^3 .

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Az adatokat felhasználva kapjuk:

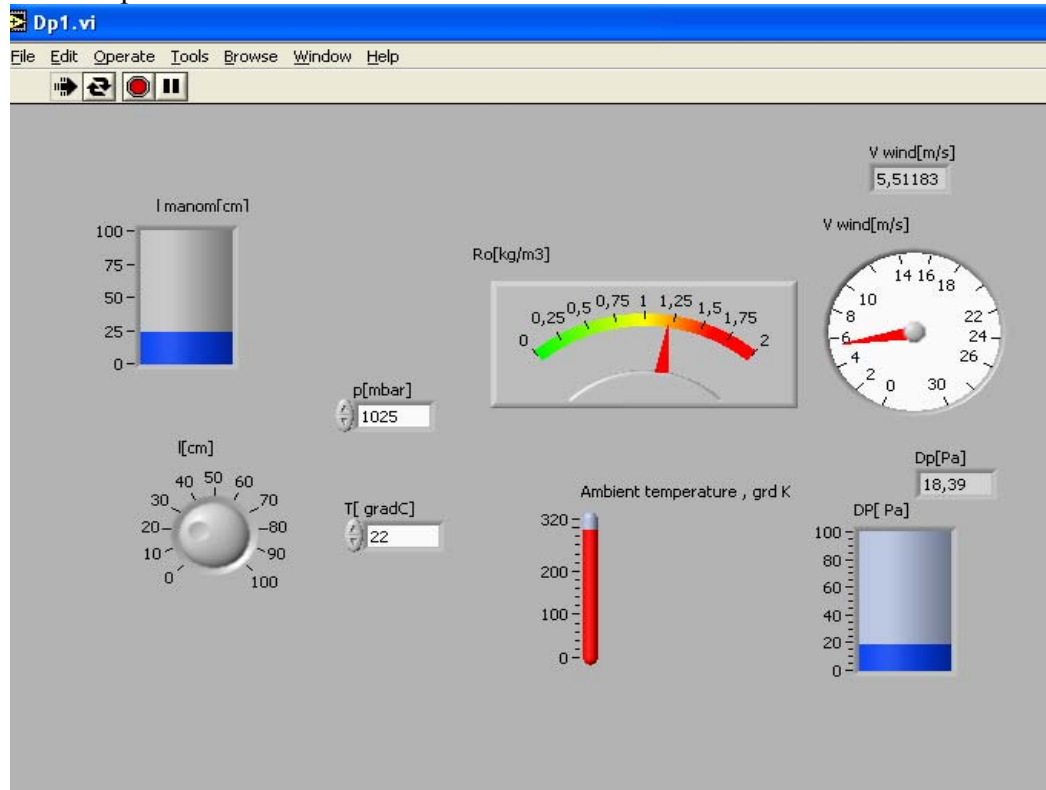
$$\Delta P = l \frac{1}{10} 0.8g [Pa] \quad (4.7)$$

Elvégezve a műveleteket adódik:

$$\Delta P = l \frac{1}{10} 0.8g = \frac{\rho v^2}{2}$$
$$v = \sqrt{\frac{160 \cdot l \cdot g}{\rho}} = \sqrt{2l} \quad (4.8)$$

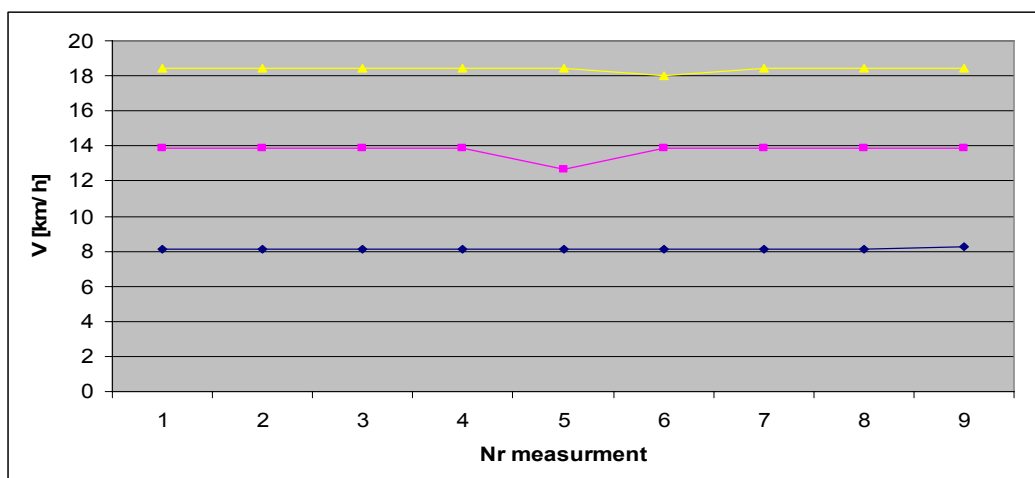
4. Eredmények

A mérési adatok feldolgozásához egy statikus modellt alkottam Lab View program környezetben. Az adatokat megjelenítő előlap (front panel), vagy virtuális műszerlap a 4.14. ábrán látható.



4.14. ábra Szélsebesség-mérés statikus modellje

A kanalas szélmérő által meghatározott sebesség értékeket a 4.15. ábra szemlélteti.

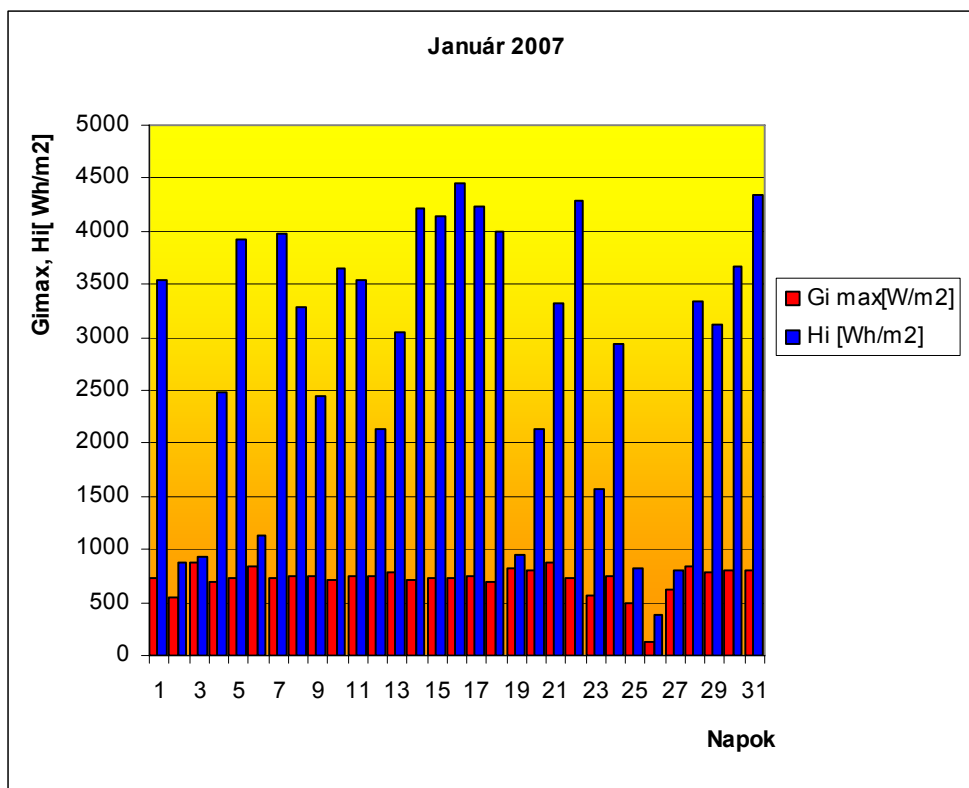


4.15. ábra A szélmérő szélsebesség adatai a szélcsatorna sebességén

4. Eredmények

4.1.4. Napsugárzási adatok elemzése

A kísérleteim során több elemzést végeztem a különböző helységek napsugárzási értékeinek a meghatározására. Adatbázisok elemzését, tanulmányozását végeztem és saját méréseket készítettem, amelyek 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 °-os dőlésszögű globális sugárzás érzékelő mérési adatai alapján határoztam meg. A mérések során rögzítettem a sugárzás maximum értékét is. A mérések napi változását egy téli illetve nyári hónapra a 4.16. és 4.17. ábrák szemléltetik.

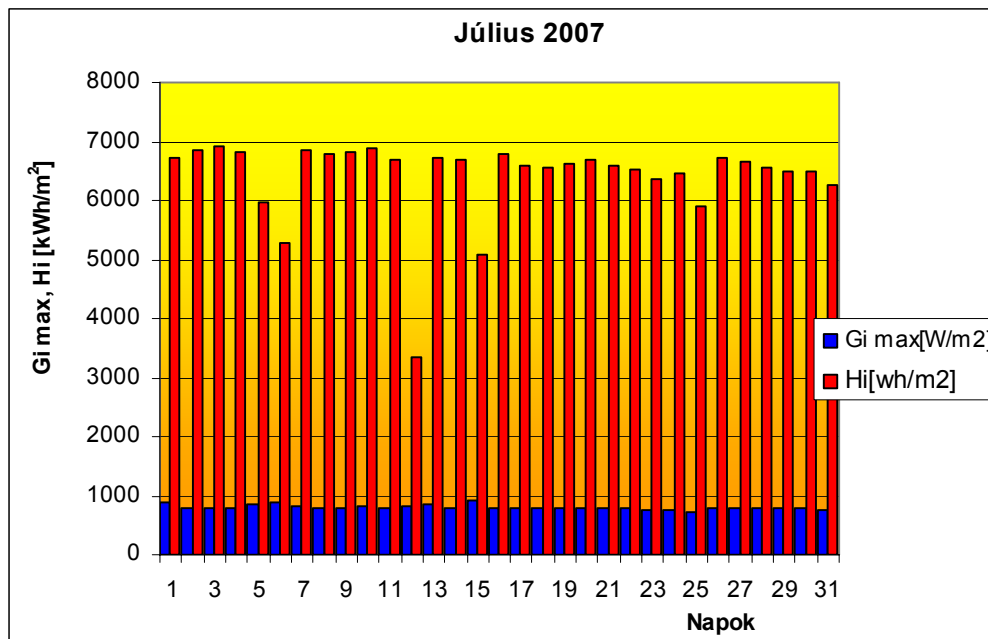


4.16. ábra Déli tájolású 45° dőlésszögű felületre jutó napi globális sugárzás összegének alakulása 2007. január hónapban

Mint látható, a napi átlagos sugárzás értéke elég alacsony, az átlag érték 2,7 kWh/m² körüli, míg a nyári periódusban eléri a 7-8 kWh/m²-t is. A derült nap sugárzási eloszlása geometriai összefüggések szerinti szabályos görbe, míg a változékony nap sugárzása e szabályos görbe körül ingadozik néhány 100 W/m²-es

4. Eredmények

amplitúdóval. Egy nap folyamán a felületre érkező sugárzási energiát a sugárzás intenzitásának az integrálásával kapjuk.

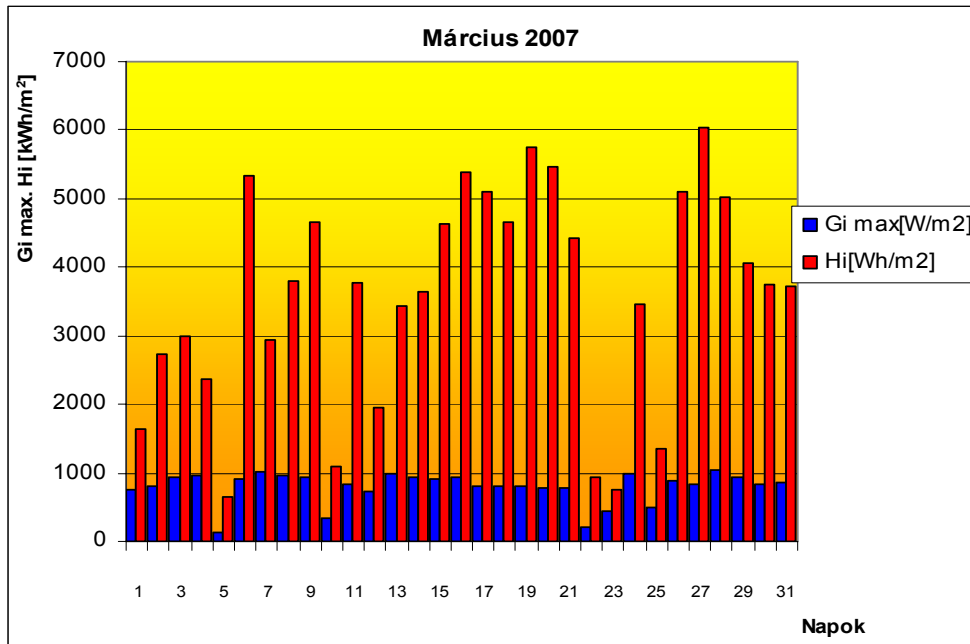


4.17. ábra Déli tájolású 45° dőlésszögű felületre jutó napi globális sugárzás összegének alakulása 2007. július hónapban

Meteorológiai szakkönyvekben általában az olvasható, hogy a földfelszínen a napsugárzás maximális értéke nem haladja meg az 1000 W/m^2 értéket. Ezért eleinte mérési hibára gyanakodtunk akkor is, amikor - bár rövid időszakokban - de ennél magasabb, 1100 W/m^2 körüli értékeket is mértünk. A napsugárzás értékek tavaszi és őszi időszakban a sok felhőképződés és időjárási frontok változásának következtében nagyon változóak. Ezt szemlélteti a 4.18 ábra is, amely márciusi napsugárzási adatokat tartalmazza. A felhős napokat a napsütéses napok váltják. A 3. fejezetben megadott módszerek segítségével meghatároztam a besugárzás napi változását. Példaként egy felhősödés mentes napon, kapott eredményt a 4.19. ábra szemlélteti. Az elemzett adatok alapján látható, hogy a téli félévben a globális sugárzás értéke a déli órákban $300\text{-}650 \text{ W/m}^2$, míg a nyári félévben, $600\text{-}1000 \text{ W/m}^2$. A térségben a szórt sugárzás értéke elérheti a 40-50%-ot is a globális sugárzás értékéből. Mindezt a 4.4. táblázat is szemlélteti. A mért adatokból meghatároztam az átlagos és az összes besugárzás adatait a tengerparti környezetben fekvő Agigean, és az adatokat összehasonlítottam a Metonorm adatbázisában található Konstanca-i adatokkal. Látható, hogy a PV mező síkjára jutó globálisugárzás energiájának éves értéke az adott dőlésszögön 1350 kWh/m^2 . Meteonorm adatai alapján ez az érték 1400 körüli. A rendszer dőlésszöge 45 fok. A romániai mérési adatok alapján a beérkező éves fajlagos sugárzás átlagértéke 1200-

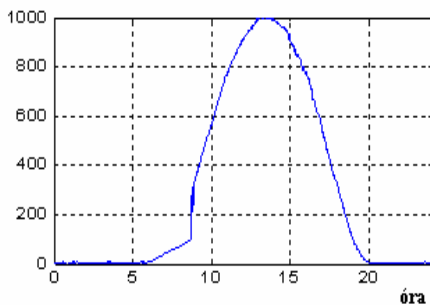
4. Eredmények

1450 kWh/m² tartományba esik (8.4.1. melléklet). Az adatok elemzésére több kereskedelmi programcsomagot is felhasználtam, ilyen az N-Sol, a Solar Design Stutio Pro és a PV Syst. Mindezen programok jelentős információval rendelkeznek a fontosabb helységek meteorológiai adataira vonatkozóan.

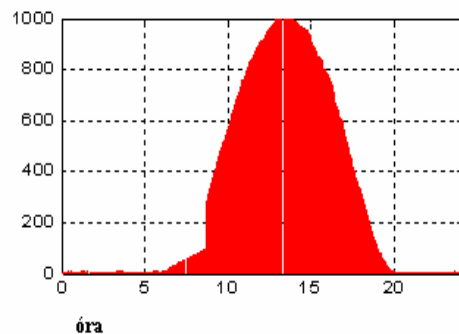


4.18. ábra Déli tájolású 45° dőlésszögű felületre jutó napi globális sugárzás összegének alakulása 2007. március hónapban

Napi összes besugárzás(W/m2)



Napi összes besugárzás(W/m2)



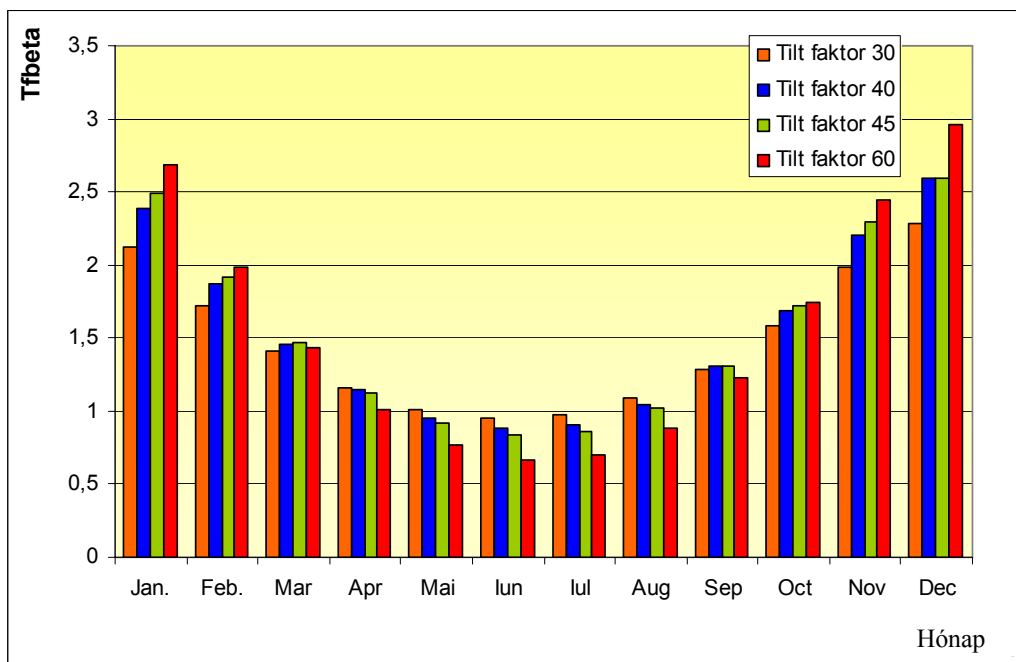
4.19. ábra Napi besugárzás eredménye l egy júliusi napra MATLAB SIMULINK modellel

4. Eredmények

4.4. táblázat Napsugárzási adatok

Hónap	Glob hor, Agigea [kWh/m ² , hónap]	Diff hor, [kWh/m ²]	Glob dőlt [kWh/m ²]	Diff dőlt, [kWh/m ²]	Albedo, dőlt	Diff/ Glob	Glob hor, Constanta [kWh/m ² , hónap]
Jan.	31,6	23,36	44,2	24,55	0,738	0,556	63
Feb.	45,9	28,93	62,8	30,55	1,074	0,486	75
Mar.	94,6	50,2	116,1	52,26	2,214	0,45	98
Ápr.	134,4	58,49	142,9	57,38	3,13	0,404	150
Máj	176,9	79,74	168	75,72	4,095	0,451	194
Jun.	179,4	89,05	161,9	82,78	4,138	0,511	204
Júl.	192,1	80,07	176	75,55	4,431	0,429	213
Aug.	161,8	70,34	163,3	68,64	3,759	0,42	188
Szep.	111,2	55,21	129,6	56,47	2,601	0,436	78
Okt.	69,9	39,07	94,7	41,65	1,634	0,44	89
Nov.	35,8	23,57	53,3	25,78	0,837	0,484	27
Dec.	23,2	17,67	32,6	18,45	0,544	0,566	25
Éves	1256,8	615,7	1345,4	609,78	29,195	0,4694	1404

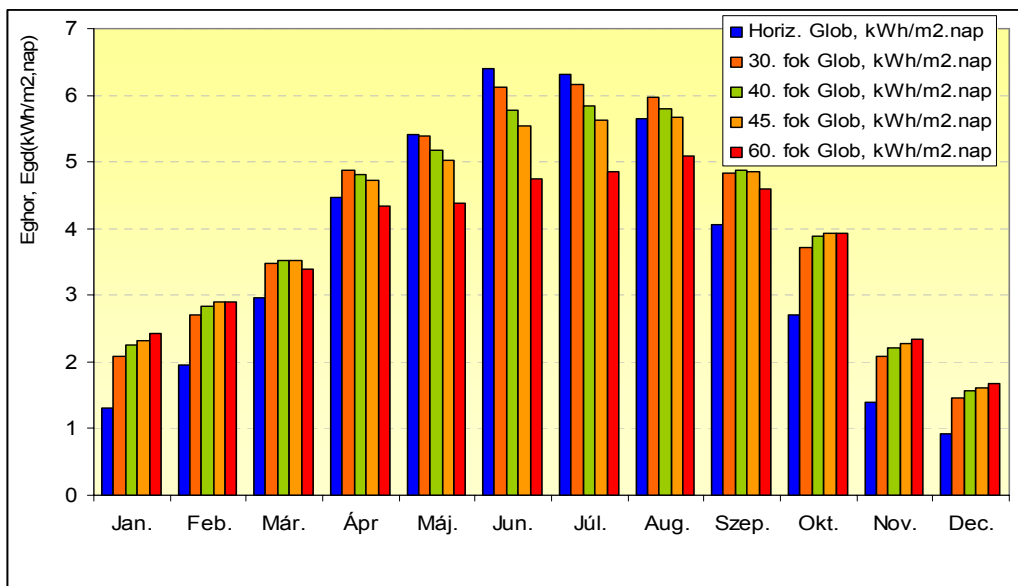
Meghatároztam a dőlési együttható (tilt factor) értékét különböző dőlési szögek esetében. A minta kísérletél a Solar Design Studio programot alkalmaztam. Az adatokat a 4.20. ábra szemlélteti.



4.20. ábra A dőlési együttható havi változása

4. Eredmények

A napsugárzás változását a dőlésszöggel a 30-60 fok tartományban a 4.21. ábra mutatja. Megfigyelhető, hogy az év különböző hónapjaiban beérkező sugárzási energia napi átlagértéke jelentősen változik. Egy évben a legnagyobb energiamentiség a földrajzi helyszín földrajzi szélességével megegyező dőlésszögű felületre érkezik be. Ennél nagyobb illetve kisebb dőlésszögű felületekre beérkező éves energia mennyisége csökken.



4.21. ábra Napi mért energiahozam a dőlésszög változásával havi bontásban

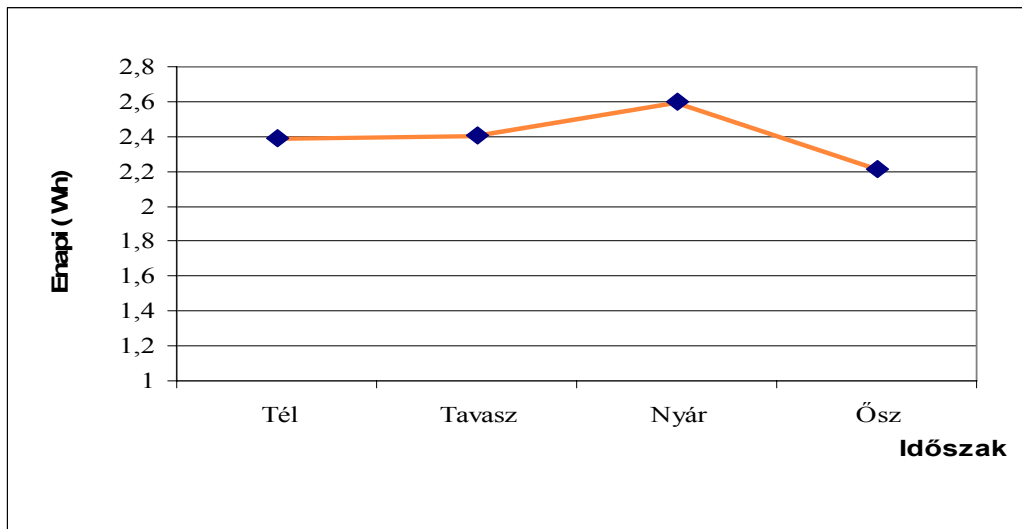
Mindezen adatok összessége elegendő egy PV rendszer energetikai elemzésének az elvégzésére. A célkitűzések közt szereplő fotovillamos rendszer modellezése az adott helyszín napsugárzási adatainak az ismeretén alapul. A rendszer szigetüzem jellegű, ezért fontos a napsugárzási adatok több éves tanulmányozása a felhős, kis sugárzás intenzitású napok számának a meghatározása, a rendszer kihasználtságának a valószínűsége (loss of load probability) és a megfelelő üzemmentes napoknak a megadása. Mindezeket már a tervezés kezdetekor le kell szögezni. Erre diagramokat is használhatunk melyek alapján ököszabályok léteznek. A szakirodalomban említett 2.35. ábra alapján, napi 2 kWh energiafogyasztás esetén - betartva az ALR arány értékét, amely 0.9 körüli - egy hibrid rendszer alkalmazása ajánlott. Ezt az ábrát hibrid indikátornak is nevezi a szakirodalom. Az ábra alkalmazása előnyös olyan helyszínekre települő rendszerek becslésére, ahol jelentős részarányban jelentkezik a diffúz sugárzás a felhősödés következtében.

4. Eredmények

4. 2. Hibrid fotovillamos-szél energiatermelő rendszer elemzése

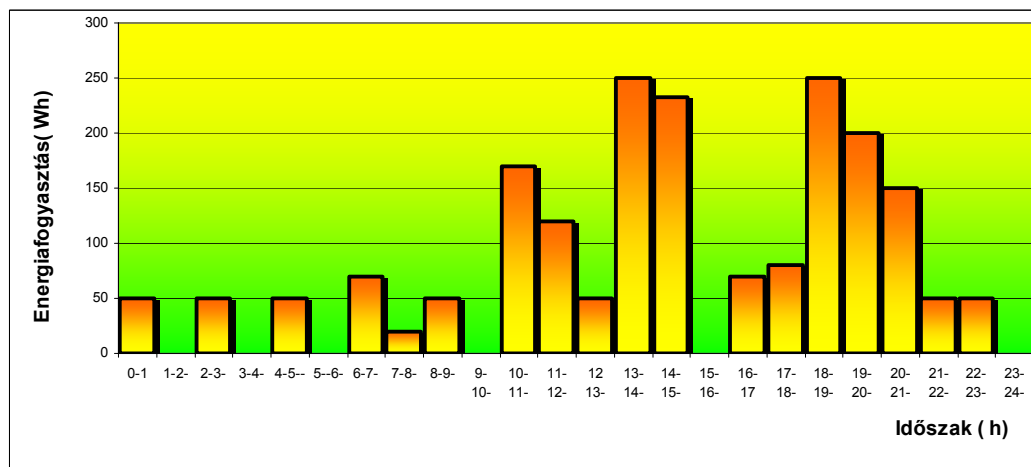
Az 1 kWp névleges csúcsteljesítményű fotovillamos rendszer elemzése

Egy energiatermelő rendszer tervezése az energiafogyasztás elemzésével kezdődik. A célkitűzéseim közt egy olyan rendszer megalkotása szerepel, amely egy kis gazdaság energiaellátását biztosítja. A fogyasztás napi értékét évszakonként a 4.22. ábra szemlélteti.



4.22. ábra A napi energiafogyasztás évszakonkénti változása

A 4.23. ábra az energiafogyasztás napi eloszlását mutatja (becsült értékek).



4.23. ábra A fogyasztás napi változása

4. Eredmények

Amint az ábra szemlélteti, a fogyasztás időszakos eloszlása szerint nappal ez az érték 40% körüli, míg este és éjszaka 60%. Ezt az arányt figyelembe kell venni a tárolókapacitás mértékekor, hisz az utóbbi szakaszban csak a tárolt energiát tudjuk hasznosítani. Hibrid rendszer esetében is erre alapozhatunk, mivel a napi szélsőbesség profilok elemzésekor kapott adatokból ebben a periódusban az óras szélsőbességátlagok csökkenő tendenciát mutatnak (8.4.7. melléklet). A fotovillamos rendszer teljesítményét az alábbi egyenlettel határozhatjuk meg:

$$PV(\text{felület}) = \frac{E_l}{H\eta_{PV}TCF\eta_{rendszer}} \quad (4.4)$$

ahol H , a napsugárzás napi átlag energiahozama ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{nap}$)

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%.

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

A kapott felület értéket szorozva a PV modul hatásfokával és a földfelszín elérő sugárzás maximum értékével ($PSI=1000 \text{ W}/\text{m}^2$) megkapjuk a napelem mező csúcsteljesítményét (4.5 egyenlet).

$$PV_{WP} = PV_{\text{felület}} PSI \eta_{PV}, \text{ elvégezve a műveleteket:} \quad (4.5)$$

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

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

$$Nr_{PV \text{ modul}} = \frac{PV_{WP}}{P_{WP \text{ modul}}} = \frac{1056}{53} = 19.92$$

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

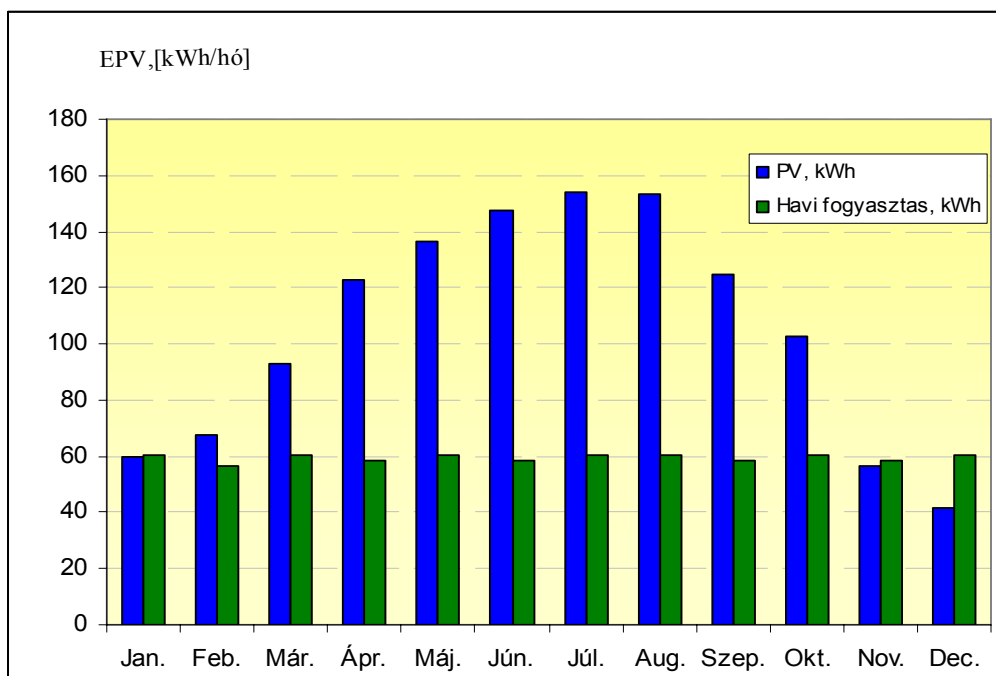
4. Eredmények

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

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

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

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. A fenti módon meghatározott PV rendszer energiatermelése havi bontásban a 4.24. ábrán látható, összehasonlítva a havi energiaigénnyel.



4.24. 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 téli hónapokban hiányzó energia pótlására egy dízel generátort alkalmazhatunk, amely ebben időszakban üzemelve biztosítja az üzemszünet mentes működést. A rendszert 5% teljesítmény kiesési indexre terveztem (LOLP, loss of load probability), amely 3-4 nap autonómiára tervezi a tárolókapacitást. Ezen

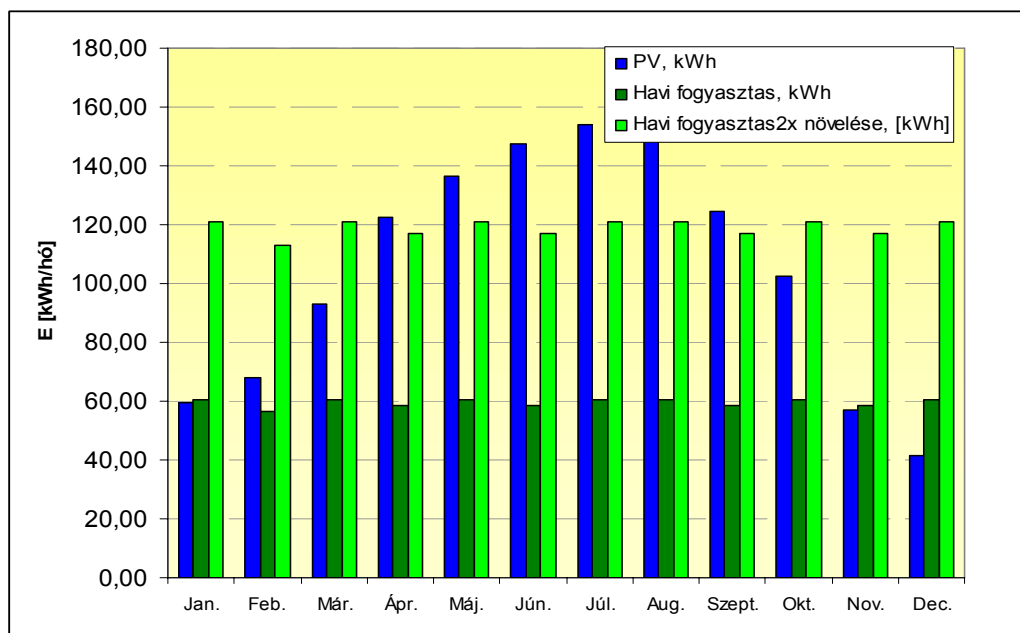
4. Eredmények

energiafogyasztás mellett rossz a rendszer teljesítmény indexe (performance ratio) mivel a nyáron termelt energiát a jelen fogyasztás mellett nem tudja felhasználni a fogyasztó és a korlátozott tárolókapacitás miatt tárolni sem tudja. A fotovillamos rendszer energiatermelését és fontosabb paramétereinek a havi változását a 4.5. táblázat tartalmazza. A rendszer jellemző paramétereinek a javítására több megoldás létezik. A legkézenfekvőbb a nyári időszakban növelni a havi fogyasztást, így a nyáron termelt fölösleg elhasználódik (4.25. ábra). Mivel téli időszakban nincs elegendő PV-vel termelt villamos energia, csökken a megújuló részarány a rendszer szerkezetében, és a fogyasztó kénytelen a 4.5. táblázatban megadott adatokhoz viszonyítva többet üzemeltetni a dízel generátort növelve a gázolajfogyasztást.

4.5. táblázat 1kWp PV energiatemelő rendszer fontosabb tulajdonságai

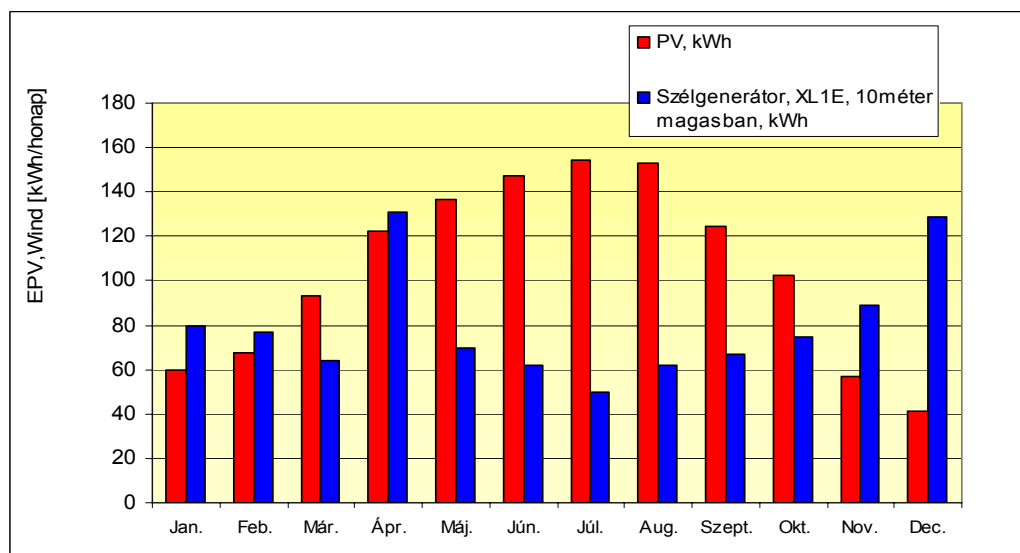
Hónap	E_{PV} , [kWh]	Havi fogyasztás, [kWh]	Energia fölösleg, [kWh]	Energia hiány, [kWh]	SOC, [%]	Pr. LOL [%]	V gázolaj, [liter]
Jan.	59,50	60,50	-1	1	24	16,90	6,1
Feb.	67,80	56,60	11,2	0	71	0	0
Már.	93,20	60,50	32,7	0	84	0	0
Ápr.	122,70	58,50	64,2	0	95	0	0
Máj.	136,60	60,50	76,1	0	97	0	0
Jún.	147,60	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

4. Eredmények



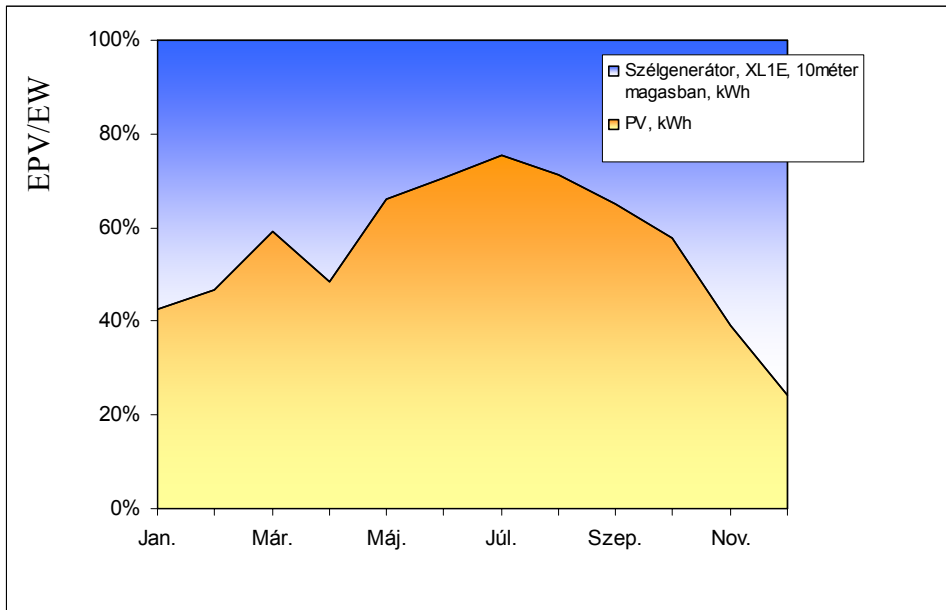
4.25. ábra. PV rendszer energiatermelése

Egy másik megoldás a PV energiatermelésének a csökkentése a modulszám csökkentésével és egy szélgenerátor beiktatása a rendszerbe. Ha a jelen fogyasztás mellett egy 1 kWp PV és egy 1 kWp szélgenerátort használunk a hibrid rendszer kiépítésekor a 4.26 és 4.27. ábrán látható energiamérleget kapjuk.



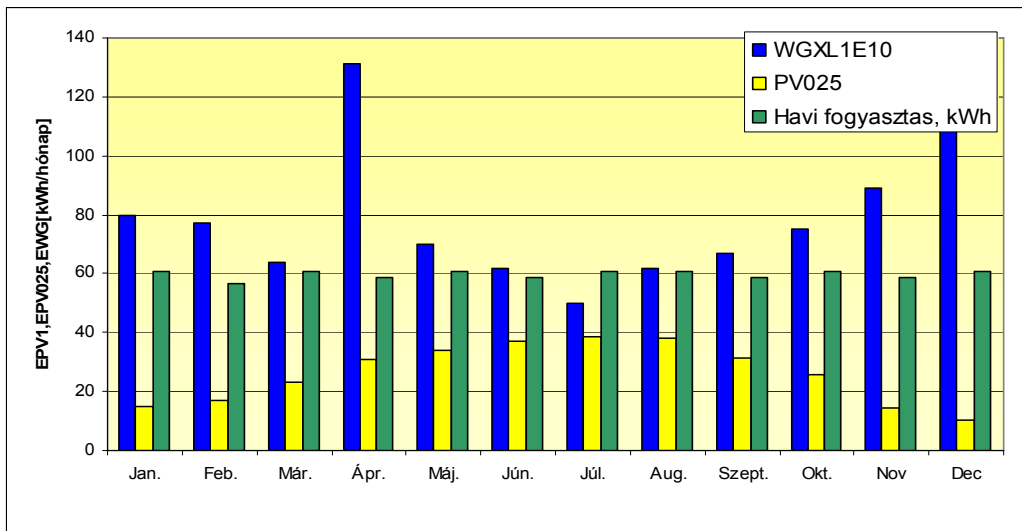
4.26. 1 kWp csúcsteljesítményű PV és 1 kWp szél hibrid rendszer havi energiatermelése

4. Eredmények

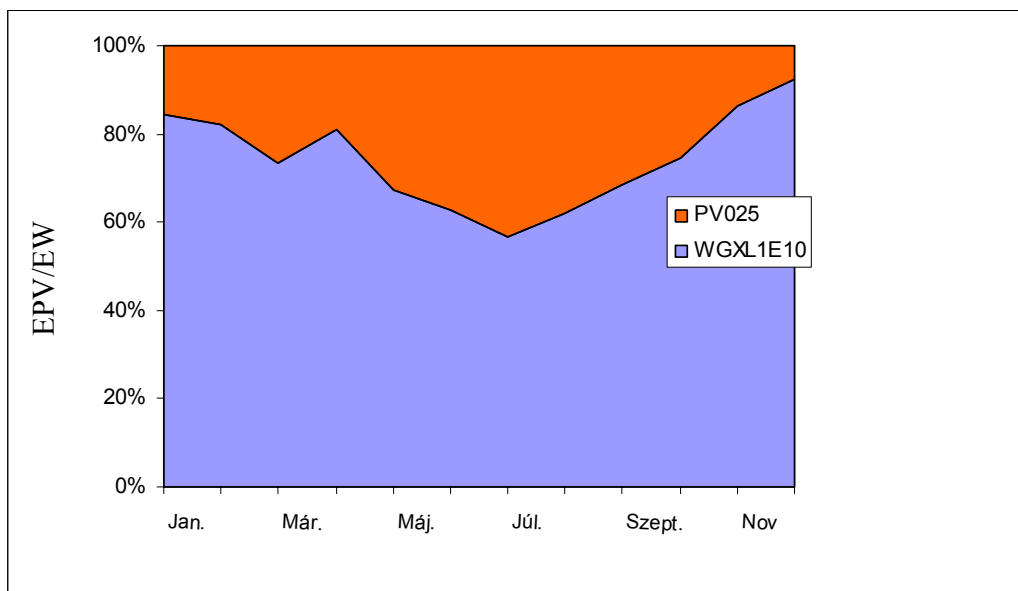


4.27. Hibrid rendszer energiatermelésének százalékos eloszlása havi bontásban

Ha a PV arányt 30%-ra csökkentjük, akkor az így kialakított hibrid PV-szél rendszer képes biztosítani a kért energiaigényt, a 4.28. és 4.29 ábrák szerint.



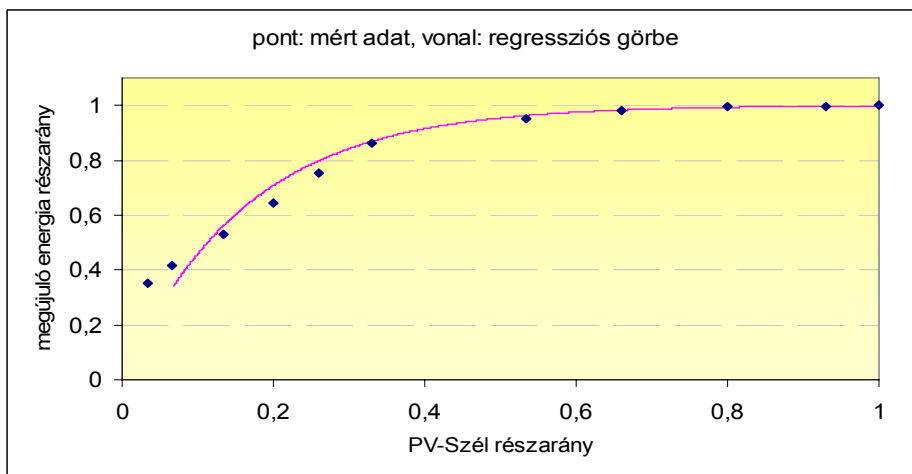
4.28. ábra 1 kWp szél - 0.3 kWp fotovoltaikus hibrid rendszer energiatermelésének havi eloszlása



4.28. Hibrid rendszer energiatermelésének százalékos eloszlása havi bontásban

4.3. Hibrid rendszerre jellemző paraméterek elemzése

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 tartományba 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 a 4.30 ábrán szemléltetem.

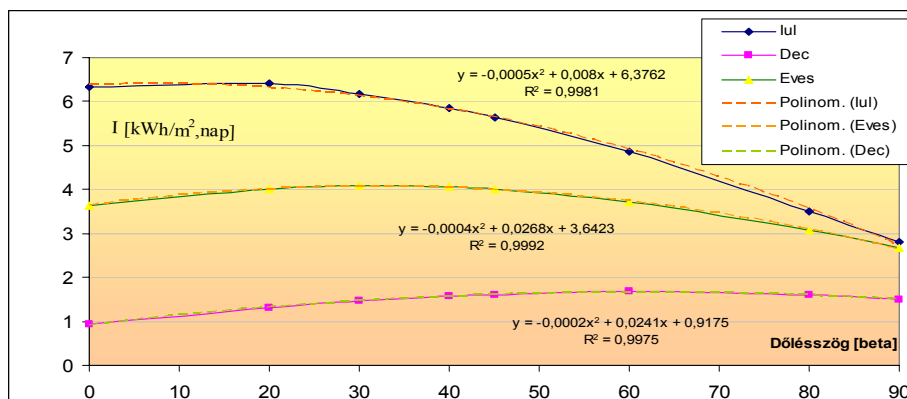


4.30. ábra A megújuló energia részarány és a PV- szél arány kapcsolata egy hibrid rendszer esetében

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.

Az összefüggés érvényességi tartománya a gyakorlatban szokásos 50%-nál magasabb teljes megújuló részarány esetre ($f_R > 0,5$) érvényes. Ennek megfelelően az összefüggés paramétereit a $-6,158$ értékre identifikáltam 0,97 korrelációs együttható mellett.

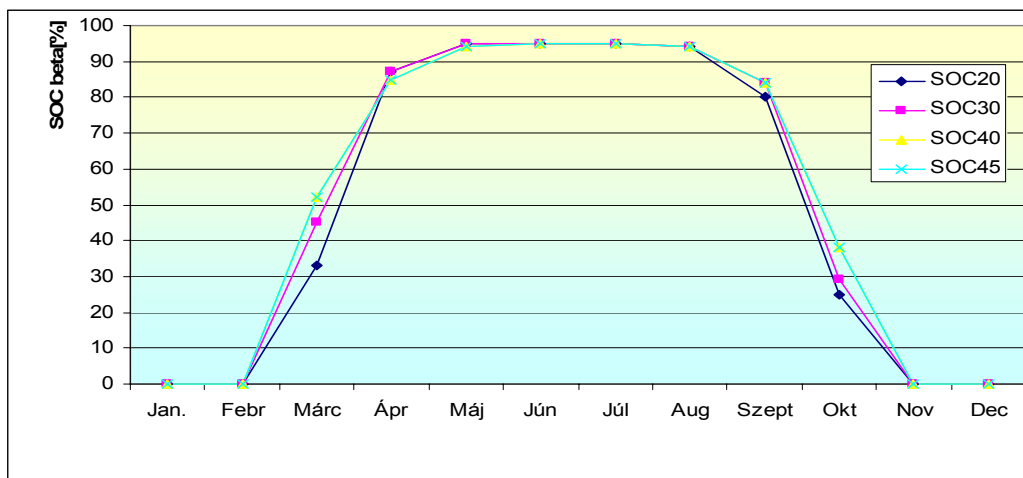
A továbbiakban elemeztem a dőlésszög változásának a hatását a napsugárzás energiahozamának az alakulására téli, nyári és éves adatok felhasználásával. Az eredményeket a 4.31. ábra szemlélteti. A változások mindegyik esetben másodfokú függvénnyel írhatók le.



4.31. ábra A dőlésszög hatása a napi napsugárzás energiahozamok értékére

4. Eredmények

Egy fontos paraméter az autonóm rendszerek jellemzésére a SOC (State of charge) paraméter, amely az akkumulátor töltésállapotát fejezi ki. Modell kísérleteket végezve megállapítottam, hogy a dőlésszög változása nem befolyásolja jelentősen ezt a paramétert. A modellek eredményét a 4.32. ábra tartalmazza. Mintaképezéskor az NSOL szimulációs programot használtam.

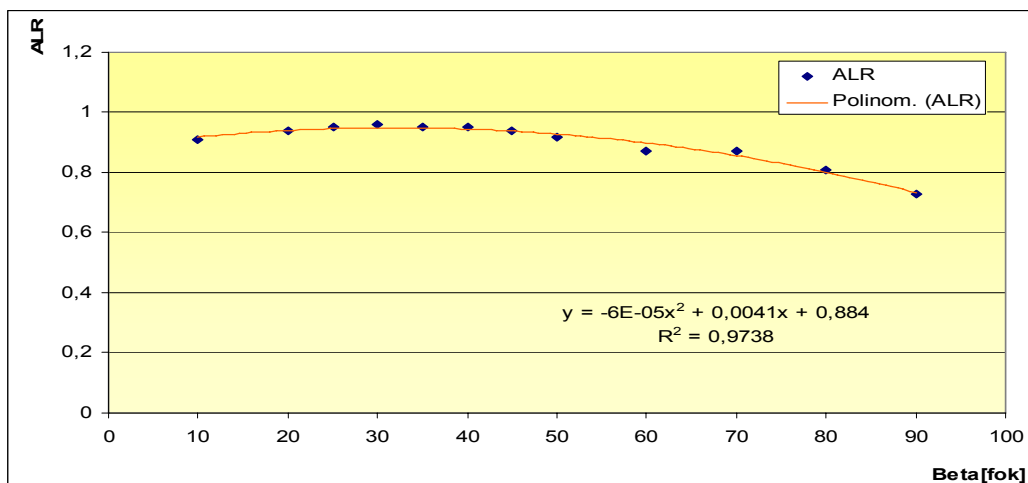


4.32. ábra SOC paraméter alakulása a PV modul dőlésszögének változásával

Egy másik fontos paraméter a termelés/fogyasztás arány (ALR), amely a PV mező által termelt energia és a fogyasztás arányaként határozható meg. Ennek ismerete fontos a hibrid rendszerek jellemzésekor. A szakirodalom szerint egy jól működő rendszer ARL paramétere 1 körüli érték kell hogy legyen, ebben az esetben a tárolókapacitás mélykisülése nem történhet meg. Amint látható a dőlésszög változása jelentősen befolyásolja a napsugárzás napi energiahozamának változását, ezáltal a PV mező energiatermelését. Kidolgoztam egy modellt, amely alkalmas a PV mező dőlésszöge és a hibrid szigetüzemű rendszert jellemző ALR (Array Load Ratio) paraméter közti összefüggés 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 napenergia 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, üzemszünetmentes kihasználás. A modell helyességét kísérleti adatokkal igazoltam. Meghatároztam a 44-46 szélességi fok tartományban az ALR paraméter változását a dőlésszög függvényében. Éves üzemmódban az optimális dőlésszög értéke: $\beta=34^\circ$. Mindezeket a 4.33. ábra szemlélteti.



4.33. ábra A PV mező dőlésszöge és az ARL paraméter közti összefüggés

Ezen meghatározások, összefüggések alkalmazása lehetővé teszi egy biztonságos, megbízható és a fogyasztói igényeket kielégítő rendszer tervezését, kivitelezését. Biztonságos üzemmódot egy intelligens integrált vezérléssel alakíthatunk ki. A vezérlést a 3.2.6. fejezetben ismertetett PLC segítségével valósítottam meg. A rendelkezésre álló energia optimális kihasználásának biztosítására egy energia management modellt dolgoztam ki. A modell a terhelési menetrendet egy prediktív algoritmus szerint alakítja ki, amely egyúttal elvégzi a tárolókapacitás karbantartását is, megelőzve ezzel az elektrolit rétegződését. A modell paramétereit egy PLC-nek közvetíti, amely a prioritások figyelembevételével fogyasztókat kapcsol be-, illetve ki biztosítva ezzel a tárolókapacitás előírt töltöttségi állapotát (State of Charge – SOC) és a mélykisülések az elkerülését. A modellt egy általam készített kísérleti berendezésen teszteltem. Mindezek a javítások, technológiai megoldások növelik a hibrid rendszer tárolókapacitásának az élettartamát.

4.4. A nap és szélergia potenciál komplementaritása

A nap és szélergiás hibrid rendszerek telepítése során egy adott helysín meteorológiai adatainak az elemzésével arra a következtetésre jutottam, hogy a két energiaforrás komplementáris. A nyári időszakban a napenergia, a téliben pedig a szélergia a domináns. Az állításaimat mérési adatokkal is alátámasztottam és 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 4.6. egyenletek felhasználásával meghatároztam a keresztkorrelációs együttható értékeit.

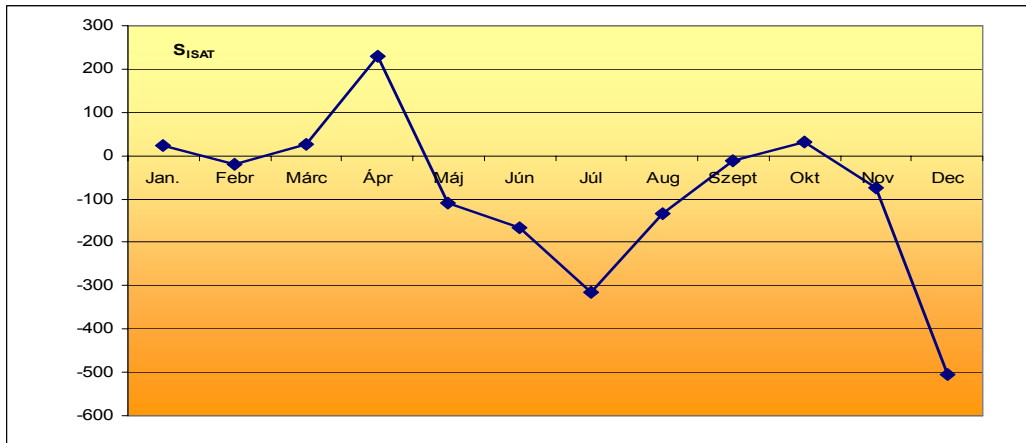
4. Eredmények

$$\chi(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_1^N (x_i - \mu_{x_i}) \times (y_i - \mu_{y_i})$$

$$\mu_{x_i} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i$$

$$\mu_{y_i} = \frac{1}{n} \sum_1^n y_i$$
(4.6)

ahol az x a szélpotenciál havi változása és az y a globális besugárzás havi átlaga



4.34. Keresztkorelációs együttható havi változása

Az 4.34. ábrán példaként a Fekete-tenger partvidékére vonatkozó éves adatsor látható, ahol az ehhez tartozó keresztkorelációs együttható értéke: $S_{ISTAT} = -1033 \text{ W}^2/\text{m}^4$, ami a komplementaritást igazolja. Az ábra a 4.6. táblázatban megadott adatsor alapján készült.

4.6. táblázat Nap és szélteljesítmény sűrűség

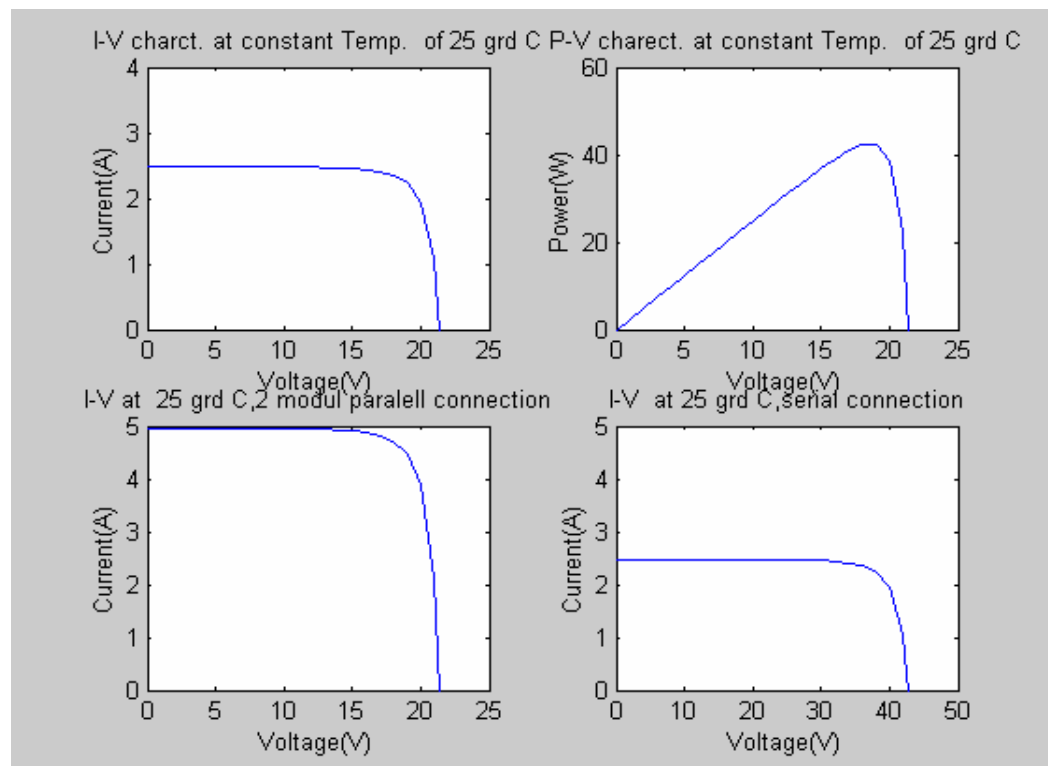
Hónapok	v átlag (m/s)	WPD, [W/m ²]	Glob _{Horsol} [W/m ²]
Jan.	4,1	80,24	42,4
Febr.	4,2	86,28	68,3
Márc.	3,8	63,86	127,2
Ápr.	5	145,73	186,7
Máj.	3,9	69,11	237,8
Jún.	3,8	63,98	249,2
Júl.	3,5	49,94	258,2
Aug.	3,75	61,39	217,5
Szept.	3,9	69,43	154,5
Okt.	4	75,08	93,9
Nov.	4,3	92,56	49,7
Dec.	4,9	137,2	31,2
Átlag	4,10	82,90	143,05

4.5. PV modul 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. A 3.2.2. fejezetben megadott analitikus modellt felhasználva, MATLAB környezetben, ismerve a fotovillamos modul jellegzetes paramétereit (4.7. táblázat), meghatároztam a modellt leíró paramétereket. A kapott eredményt a 4.35. ábrán szemléltetem.

4.7. táblázat Kzocera KC 40 modul technikai paramétere

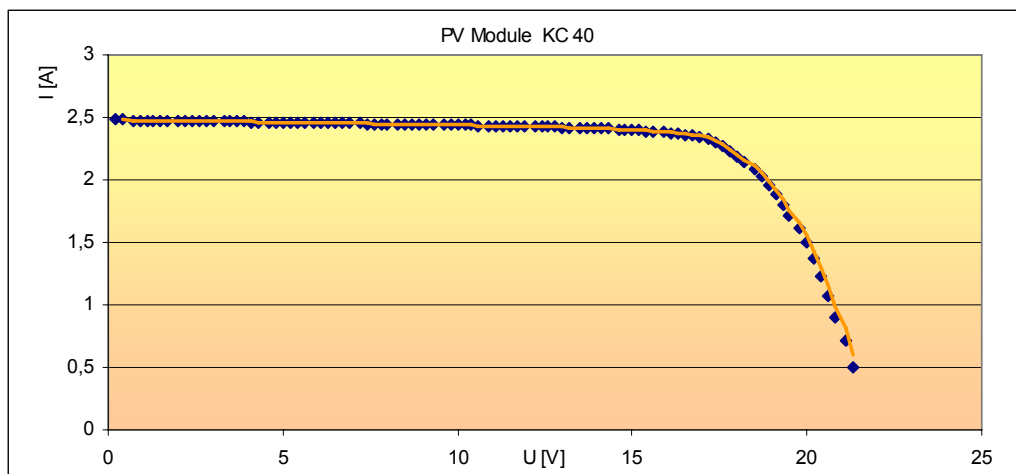
Tulajdonság	Mértékegység	Érték
Maximális teljesítmény (Pmax)	W_p	43
Tűrés	%	+15 / - 5%
Hatásfok / Cellahatásfok	%	13% / 16%
Pmax feszültség	V	17,4
Pmax áramerősség	A	2,48
Nyílt feszültség	V	21,7
Rövidzárási áram	A	2,65



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

4. Eredmények

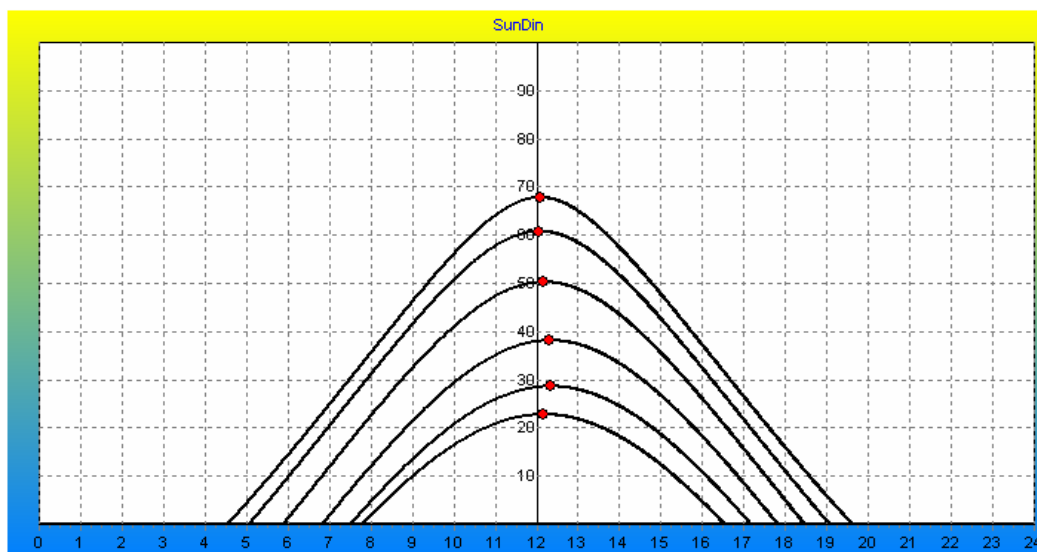
A kapott eredmények alapján látható, hogy a modell meghatározza 1000 W/m^2 besugárzás esetén az I-V jelleggörbét, a feszültség-teljesítmény jelleggörbét, továbbá meghatározza az üresjáratú feszültség és a rövidzárási áram értékeit különböző soros, illetve párhuzamos modulkapcsoláskor. A modellezett eredmények alapján látható, hogy a feszültség, a teljesítmény és a rövidzárási áram értékek 5% tartomány eltérésben megközelítik a gyártó által megadott adatokat. A méréseim során egy hordozható PVE (8.5.1-2 melléklet) típusú I-V karakterográfot használtam. A modelleredményeket összehasonlítottam egy kereskedelmi napenergiás PV rendszereket tervező program eredményeivel, amely adatait egy táblázatkezelő programmal ábrázoltam. Az eredmények a 4.36. ábrán találhatók.



4.36. Kyocera KC 40 napelem modul áramerősség-feszültség jelleggörbéje (Solar Design Studio program szimulációs adatai szerint)

4.6. Nappálya diagramszerkesztő 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 Delphi nyelvezetben készítettem (8.6. melléklet) felhasználva a helyszín földrajzi koordinátáit és időzónáját. A 3.2.5 fejezetben megadott egyenletekkel megszerkeszthető ez a diagram, amelyet a kért méretre nyomtathatunk és a bemutatott eszközzel meghatározhatjuk a telepítendő PV rendszer környezetében található tárgyak, épületek hatását. A program az adatok bevitele után generál egy nappálya diagramot, amelyet pl. Constanta adataival a 4.36. ábra szemléltet. A továbbiakban látható néhány európai város földrajzi koordinátája, (4.8. táblázat) amelyek alapján hasonló ábrák szerkeszthetők.



4.36. ábra. Szerkesztett nappálya diagram, Constanta

4.8. táblázat Kelet-Európai városok földrajzi kooronátái

Város	Ország	Latitude (N)	Longitude (°E)	GH (kWh/m ² ,év)
Baia Mare	Ro	47,40	23,35	1286
Constanta	Ro	44,13	28,38	1446
Fagaras	Ro	45,51	24,59	1302
Kecskemét	Hu	46,55	19,45	1261
Nyiregyháza	Hu	48,01	21,44	1306
Pécs	Hu	45	18,14	1253
Murska Sobota	Sl	46,39	16,11	1193
Lisca	Sl	46,04	15,17	1209
Gdansk	Pl	54,31	18,36	1012
Lodz	Pl	51,44	19,24	1030

4.7. Fotovillamos és szélenergiás 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 (Farkasné, 2003). A gazdasági elemzést egy 1 kW_p szélgenerátor és egy 300 W_p csúcsteljesítményű fotovillamos modulokból kialakított rendszerre végeztem. A rendszert alkotó elemek beruházási költségeit a 4.9 táblázat mutatja.

4. Eredmények

4.9. 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. A hibrid rendszer induló költsége, amint a 4.9. táblázat mutatja (a jelenlegi árakkal számolva) a berendezést alkotó elemek és a szerelési költségből alakítható ki, ez magába foglalja az 12 akkumulátor költségét is. 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. Ha a rendszer teljes költségét kívánjuk meghatározni, akkor az itt jelentkező költségeket jelenértéken (a 8. illetve a 16. évben felmerülő költségeket mai pénzértéken kifejezve) kell számításba venni.

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

$$PV = \sum_{n=1}^N \frac{C(1+i)^{n-1}}{(1+r)^n} \quad (4.7)$$

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 új beruházás szükséges,
C- az n időpontban esedékes összeg (Duffie és Backman, 1997)

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

$$PV_8 = \frac{2136(1+0.07)^{8-1}}{(1+0.1)^8} = 1600$$

$$PV_{16} = \frac{2136(1+0.07)^{16-1}}{(1+0.1)^{16}} = 1283$$
(4.8)

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 (4.3 és 4.5 táblázatok) meghatároztam a rendszer működése alatt termelt energia értékét, amely:

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

A hibrid rendszerünk által termelt villamosenergia becsült önköltsége meghatározható az élettartam költsége és a termelt energia értékének a hányadosával:

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

Ha figyelembe vesszük, hogy jelenleg a villamos energia ára Romániában 0.15 Euro/kWh. Ami annyit jelent, hogy a beruházás a jelenlegi piaci árak mellett nem gazdaságos. Figyelembe véve az érvényes támogatási rendszert (A romániai adatok alapján 1 MWh fotovillamos rendszerrel termelt energiára 4 zöld tanúsítvány jut, amely értéke 100 Euro). Vagyis a támogatás értéke 0.1 Euro/kWh. A támogatás beépítésével is jelenleg 0,25 euro/kWh bevétel érhető el a beruházásnál.

Ez ugyan kevesebb, mint a kapott energia önköltsége, de ez a rendszer működése, élettartama során állandónak tekinthető, ráadásul a pénzösszeg nagy része előre kifizetésre kerül. Kiküszöbölhetők tehát az energiaár változásából adódó bizonytalanságok, sőt bizonyos idő után a nyert energia szinte ingyenessé válik. Mindezek a növekedés kockázata mellett, biztosítják a fogyasztó nagyobb energia

4. Eredmények

ellátási biztonságát is, hiszen csökken az ország energiafüggősége is (Bartha et al., 2007). Hozzá kell tennünk, hogy a CO₂ kibocsátás kereskedelem révén ugyancsak többletbevétel érhető el (Fekete et al., 2000). Az ilyen rendszerek nagyban hozzájárulhatnak a fenntartható fejlődéshez és a klímaváltozás problémájának enyhítéséhez.

A dolgozatban ismertetett, telepített rendszerünk távol van a nemzeti villamos hálózattól, így villamos energia ellátása csak a hálózat hiányzó részének saját erőből való fedezésével oldható meg. Ezt az alternatív megújuló energia gazdaságosságának megítélésénél ugyancsak számításba kell venni (Farkas et al., 1999).

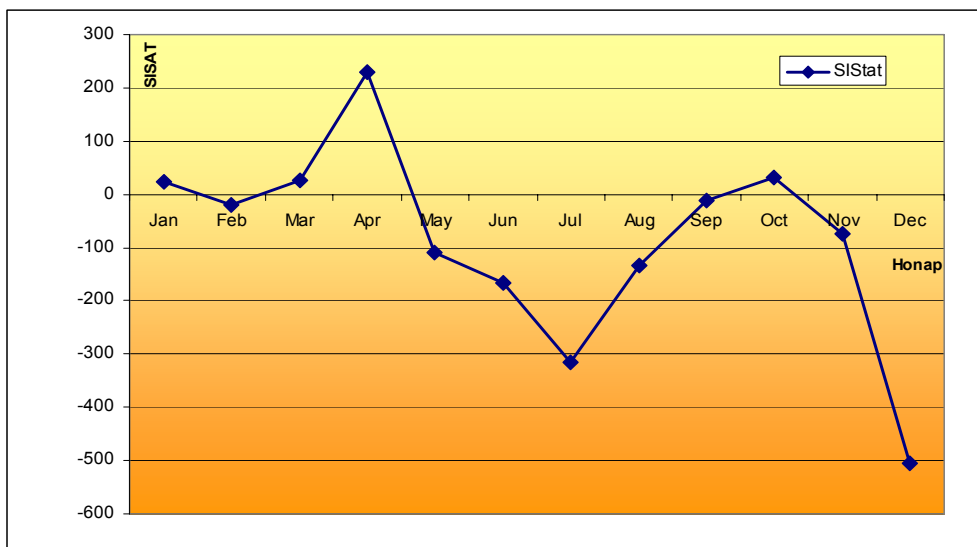
4.8. Új tudományos eredmények

1. Nappálya diagramszerkesztő 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: $SI_{STAT} = -1033 \text{ W}^2/\text{m}^4$, ami a komplementaritást igazolja az adott régióra.



3. Hibrid nap és szélenergiás rendszer energiatermelése

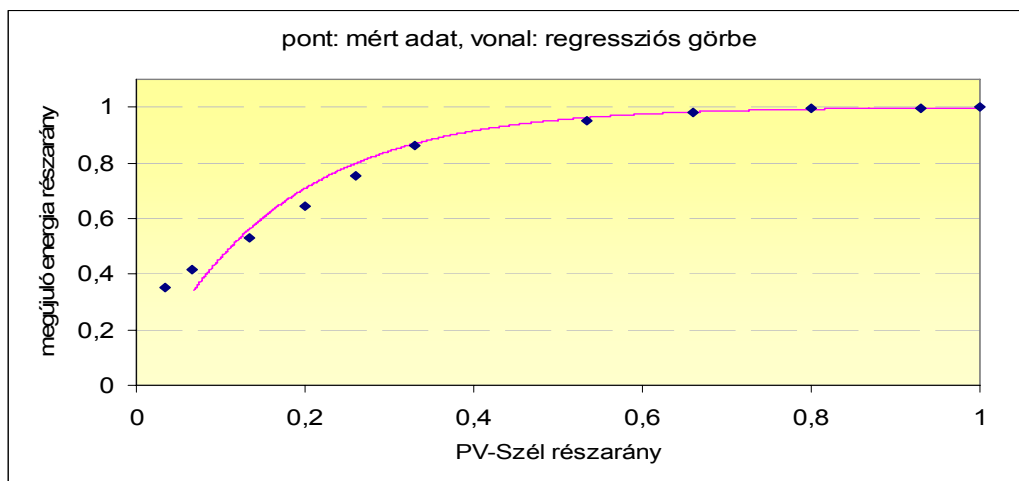
Egy adott helyszín napsugárzási intenzitásának, a szélesebbég adatainak valamint a fogyasztási igényeinek a felhasználásával egy modellt dolgoztam ki, amely meghatározza a hibrid rendszer energiatermelését napi, illetve havi bontásban. A modellalkotás során rögzített fogyasztásérték és tárolókapacitás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

4. Eredmények

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:

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

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

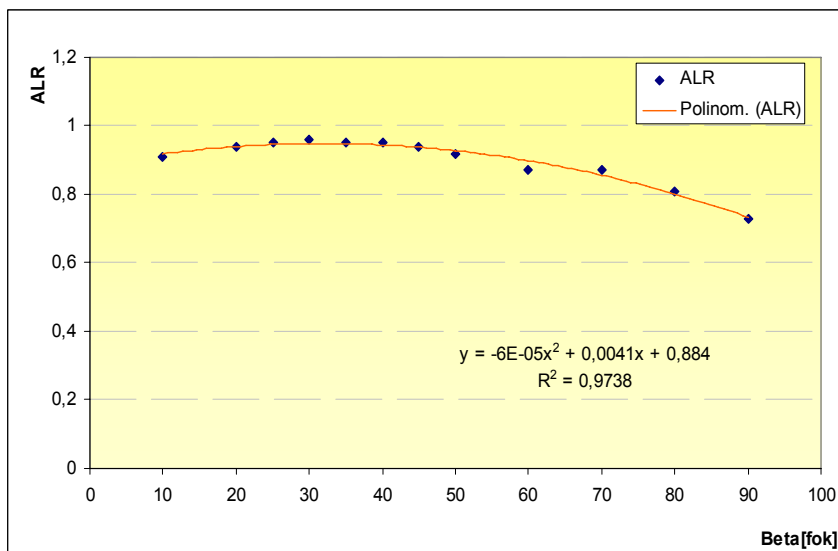


4. Az energia termelési/fogyasztási arány (ALR) összefüggése a PV mező dőlésszögével

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: $\beta = 34^\circ$.



5. A Weibull- függvény k paraméterének alakulása

A szélesebbég eloszlásának leírása leggyakrabban a Weibull-eloszlás függvénnyel adható meg, amelyek 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 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 szélenergia. A megújuló energiaforrások felhasználásának a műszaki technikai kérdései már alapvetően megoldódtak, de még lehet találni olyan megoldásokat, amelyek az ágazatot versenyképesebbé teszik a hagyományos energiahordozókkal szemben. A Közép-Kelet Európa térségében még sok olyan elszigetelt település található, ahol nem megoldott a villamosenergia 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 szétszórta található, 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 magasságban működnek. A jelen dolgozatban bemutatott modellek alkalmasak ezen energiaforrások éves hozamának becslésére. A nap- és szélpotenciál komplementaritására vonatkozó módszer alkalmazása ajánlott az energia mérlegek elkészítésekor. A mérőeszközök kalibrálása a megadott modellel könnyen elvégezhető. A használt anemométerek az oktatási célokat szolgáló szélcsatornában tesztelhetők, a kapott pontosság elegendő a mérés elvégzéséhez. Az energia mérlegek elkészítésekor meg kell határozni a PV mező optimális dőlésszögét, amely a megadott módszerrel 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 erre készült nappályadiagram sikeresen alkalmazható a környezettanulmány elkészítéséhez. 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 biztonságosan fog működni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásaim időszakában, a térségben rohamosan fejlődött a környezetbarát energiaforrások alkalmazása, amelyek telepítését uniós jogszabályok alapján kidolgozott nemzeti programok segítik. Mindezek mutatják a 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 legfőképpen 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 szélesebbésmérőket egy oktatási célokot szolgáló szélcsatornában teszteltem, 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 komplementaritásának az igazolására. Ha egy helyszínen létezik e jelenség, jelentősen csökkenhet a PV aránya az adott energiamérlegben. A vizsgált 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 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, a helyszínre alkalmas szélgenerátorok kiválasztására, figyelembe véve az átlag szélesebbésség érték és a szélgenerátor indulási sebessége közti kapcsolatot.

A módszerek, modellek kialakításakor az egyszerűsége, pontosságra törekedtem. Ezek segítségével általános érvényű következtetéseket vonhattam le az adott mérési környezet esetén alkalmazható mérési és adatgyűjtő rendszerek összeállítására és az adott energiafogyasztási igények technikai háttérének a biztosítására.

Továbbá jelentős érvényű ismerethez jutottam a fotovillamos és szélenergiát hasznosító (kisteljesítményű 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 energiátároló kapacitását a mélykisüléstől.

7. SUMMARY

During my research period the application of environmental friendly energy resources has been developed, and these initiatives were supported by several EU Directive based programs. These facts show the importance and opportunity of the programs.

After reviewing the theme-linked bibliography, I participate to the wind and sunray energy potentials surveying process. I made my survey in different places, especially in the Black Sea shore situated Agigea city, and in the mountain area situated Brasov city. In my work, I participate to the data assessment (evaluation), and I also used these in the energy balance studies. The wind velocity meter was tested in wind tunnel used in education purpose. For the data evaluation, I elaborate a Lab View static model. Based on the measurement data I defined a method using the statistics available definition functions to determine the cross-correlation coefficient for the wind and solar energy potential complementarity.

If there is a place where this phenomenon exists it can reduce the PV rate in the energy balance. As well known in this case there is an optimal 1/3 photovoltaic (PV), respective 2/3 wind rate, which I certified at a given consumption. I also defined, based on the measurement data, an optimal hybrid system, which can support the energy supply for a little household.

The components are a 1 kW_p peak power wind generator and 0.32 kW_p peak power PV module built from 8 pieces Kyocera KC 40 PV module and an 500 Ah battery, designed for 24 V tension. This provides 3-4 day autonomy at a given consumption for the household. The methods and the models can be used in different places and in varieties energy-needs.

The measurement data can be used in choosing of the areas feasible for wind and sun energy exploitation, and in accordance with this choosing the area adapted wind generator.

In this case, it is necessary to take into account the relation between the mean of wind speed and the cut in wind speed of the wind generator.

In the development of methods and models, I focused on the simplicity and accuracy. These methods and models helped me to make general conclusions regarding to the possibility of using the measurement and data-acquisition systems and to determine the background for energy

Furthermore, I realised a study in field of small power wind and PV application and from evaluation of the energy balances of this units. This can be used easily, in vantage point in technical and economically evaluation process of this hybrid system.

8. MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék

1. Akella A. K., Sharma M.P., Saini R.P.,: (2007): Optimum utilization of renewable energy sources in a remote area, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **11** (5), pp. 894–908.
2. Ashok S. (2007),: Optimised model for community based hybrid energy system, *Renewable Energy* Vol. 32, Issue 7, pp. 1151-1164
3. Ashok S., (2007): Optimised model for community-based hybrid energy system, *Renew Energy*, **32** (7), pp. 1155–1164
4. Azbe V., Mihalic R., (2006) : Distributed generation from renewable sources in an isolated DC network, *Renewable Energy* **31** (14), pp. 2370–2384
5. Bagul A.D., Salameh Z.M., Borowy B.S., (1996) Sizing of stand-alone hybrid wind–PV system using a three event probability density approximation, *Solar Energy* **56** (4), pp. 323–335
6. Bagul A:D:, Borowy B. (1996): Sizing a Stand Alone Hybrid Wind Photovoltaic System using a Three –event Probability density Approximation *Solar Energy* ,Vol 56 Nr. 4 pp. 323-335
7. Bahaj, L A., Myers S., James P.A.B., (2007): Urban energy generation: influence of micro-wind turbine output on electricity consumption in buildings, *Energy and Buildings* **39** (2), pp. 154–165.
8. Barótfi, I. (szerk.) (1993): *Energiafelhasználói kézikönyv. Környezet-technika Szolgáltató Kft., Budapest 1003 p.*
9. Bartha,S, D.I. Teodoreanu, I. Farkas, M. Farkas, I. Seres and C.C. Negreanu, *Solar photovoltaic applications*, Editura Elektra, Bucuresti, 2006, p. 164. ISBN (10) 973-7728-76-9
10. Bechrakis D.A., Keogh E.J. Mc, Gallagher P.D. (2006): Simulation and operational assessment for a small autonomous wind-hydrogen energy system, *Energy Conversion and Management* **47** (1), pp. 46–59.
11. Bernal-Agustin J. L., Dufo-Lopez R. and Rivas-Ascaso D.M., (2006): Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions, *Renewable Energy* **31** (14), pp. 2227–2244.
12. Bopp, G., Gabler, H., Kiefer, K., Preiser, K., Wiemken, E. (1997): Hybrid photovoltaic-diesel-battery systems for remote energy supply, Proc. NORTH SUN'97, Espoo, Finland, June
13. Celik N., (2002):Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic–wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems, *Energy Convers Manage* **43** (18), pp. 2453–2468

14. Dakkak, A., Hirata R. Muhida and Z. Kawasaki, (2003) Operation strategy of residential centralized photovoltaic system in remote areas, *J Renewable Energ* **28** (7), pp. 997–1012.
15. Dalton G.J., Lockington D.a. Baldock T.E., (2008): Feasibility analysis of stand-alone renewable energy supply options for a large hotel, *Renewable Energy* **33** (7), pp. 1475–1490.
16. Diaf S., Notton G., Belhamel M., Haddadi M., Louche A., (2008) Design and techno-economical optimization for hybrid V/wind system under various meteorological conditions, *Appl Energy* **85** (10), pp. 968–987
17. Dorvlo, A. S. S., JERVASE J. A., Al-Lawati A. (2002): Solar radiation estimation using artificial neural networks. *Applied Energy*, 71 pp. 307-319.
18. Dufie, J. A., BECKMAN W. A. (1980): *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: Willey. 919 p.
19. Farkas I. (szerk.) (2003) *Napenergia a mezőgazdaságban*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 37-46, 100-126
20. Farkas, I. - Buzás, J.-Hegyi, K.-Fekete F, M.-Predescu, M.-Bartha, S.: 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,
21. Farkasné Fekete Mária: A napenergia-felhasználás gazdasági és társadalmi feltételei. A napenergia hasznosítása a mezőgazdaságban (Szerk.: Farkas István) *Mezőgazda Kiadó* 2003. 10. fejezet, pp.286-317
22. Fekete, M.-Farkas, I.: Relationship between sustainable development and total cost of energy use, *Energy and the Environment*, Vol. I. (ed by B. Frankovic) Croatian Solar Energy Association, Opatija, 2000, ISBN 953-6886-02-2 pp. 171-179
23. Gasch, R. Twele, J.(2002) *Wind power plants*, James &James UK and Solarpraxis AG Germany, pp, 107-165
24. Giber, J. (2005), *Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban*, B+V Kiadó Budapest, pp. 15-52
25. Gipe P. (2004) *Wind Energy*, J&J/Erthscan, London, pp. 13-77, 399-420
26. Hasimoto S., Yachi T, Tani T.,: (2005) A new stand alone hybrid power system with wind turbine generator and photovoltaic Modules for a small –scale radio base staion, *IEEJ Trans PE*. Vol 125, No 11, pp. 1041-1046
27. Hrayshat E.S.(2007), :Wind resource assessment of the Jordanian southterm region, *Renewable Energy* Vol. 32, Issue 11, pp. 1948-1960
28. Iqbal M. T., (2004): A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland, *Renewable Energy* **29** (2), pp. 277–289.
29. Khan M.J., Iqbal M.T., (2005): Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland, *Renewable Energy* **30** (6), pp. 835–854.

30. Lawrance, W. B. B, Wichert A V.(1994): PV Module Simulation Model Based on PSI/e Solar Energy Vol 52 Nr. 2 pp. 191-195
31. Lowe D. Lloyd C. R., (2001): Renewable energy systems for remote areas in Australia, *Renewable Energy* 22 (1–3), pp. 369–378.
32. Markvart, T., (1996): Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy systems, *Solar Energy* 57 (4), pp. 277–281
33. Markvart, T.(1994) *Solar Electricity*, J&Wiley New York, pp.13-19, 99-113.
34. Markvart, T.: *Practical handbook of Photovoltaics*, 2006, Elsevier, pp.544-558
35. Morgan T.R., Marshall R.H. and Brinkworth B.J.. (1997): ARES – a refined simulation programme for the sizing and optimization of autonomous hybrid energy systems, *Sol Energy* 59 (4), pp. 205–215.
36. Papadakis, G.Papantonis, D.(1994): Development of PV- Hzdro micro power plant, European Photovoltaic Solar Energy Conference, Amsterdam, 1994.
37. Patay, I.,(2001) Szélerőművek viszonyainak elemzése, Szélerőenergia konferencia, Gödöllő, pp 54-58.
38. Patay, I.,(2003) :A szélerőenergia hasznosítása, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 118p.
39. Predescu M. (2005): *Conversia energiilor regenerabile*, Editura Electra Bucursti, pp. 19-38
40. Puls, H.-G., Sauer, D.U., Bopp, G.: 2001, Least cost planning for autonomous energy supply systems, Proc. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Munich, S. 2673 – 2678
41. Quasching V.,: (2006) *Understanding Reneable Energy*. Erthscan, London., pp.182-207.
42. Rajendra A.,Nastarjan E.(2006) Optimization of integrated photovoltaic –wind power generation system with battery storage, *Energy* Vol 31. pp. 1943-1954
43. Rajendra, .A, Natarjan, E., (2006): Optimization of integerated photovoltaic-wind power generation system with battery storage, *Energy* 31pp. 1943-1954
44. Sembery, P., Tóth L.(2004): *Hagyományos és megújuló energiák*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 361-388
45. Sukamongkol Y., Chungpaibulpatana S., Ongsakul W., (2002): A simulation model for predicting the performance of a solar photovoltaic system with alternating current loads, *Renewable Energy* 27 (2), pp. 237–258.
46. Tóth L., Horváth G.(2003): *Alternatív energia: Szélmotorok, szélgenerátorok*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, pp. 73-119
47. Wenham S.R.,(2007) *Applied Photovoltaics*, J&J/Erthscan, London pp 3-26, 125-134:
48. www.orionenergy.com
49. www.baywinds.com
50. www.bergey.com
51. www.unitronics.com

M2: A témakörhöz kapcsolódó saját irodalom

1. 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.
2. **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
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 proceedings
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. 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
7. **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.
8. 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
9. **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.
10. 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.
11. **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
12. 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.

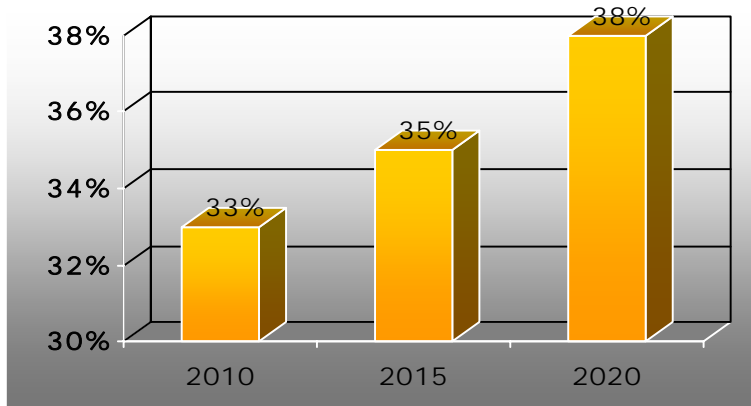
13. Farkas,I.-Seres,I.-**Bartha, S.**-Teodoreanu,D.I.(2003): Designing of a middle scale PV grid connected system, CD-ROM Proceedings of the Solar and Wind International Conference and Workshop (SWIC 2003), ICPE - Agigea Test Facility Site, Romania, September 15-20, pp. 6
14. Farkas,I.-Buzás,J.-Hegyi,K.-**Bartha, 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
15. **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.
16. I. Farkas, I. Seres, J. Buzás, M Szücs, L. Kocsis, **S. Bartha**: Design and Constructional Aspects of a 10 KWp PV System, Solar and Wind Conference SWIC 2004-Agigea
17. **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
18. **Bartha, S.**-Teodoreanu, D. I-Ursu.,(2004): Preliminary design and planning of a small scale integrated PV system for stand-alone household, Gödöllő, November 8-9, 2004, p. 17.
19. 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
20. **Bartha, S.** Farkas, D.I.Teodoreanu,(2005): An optimal sizing and simulation of the stand- alone PV applications, Brasov CSE 01, p. 220-228.
21. **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.

Könyvek:

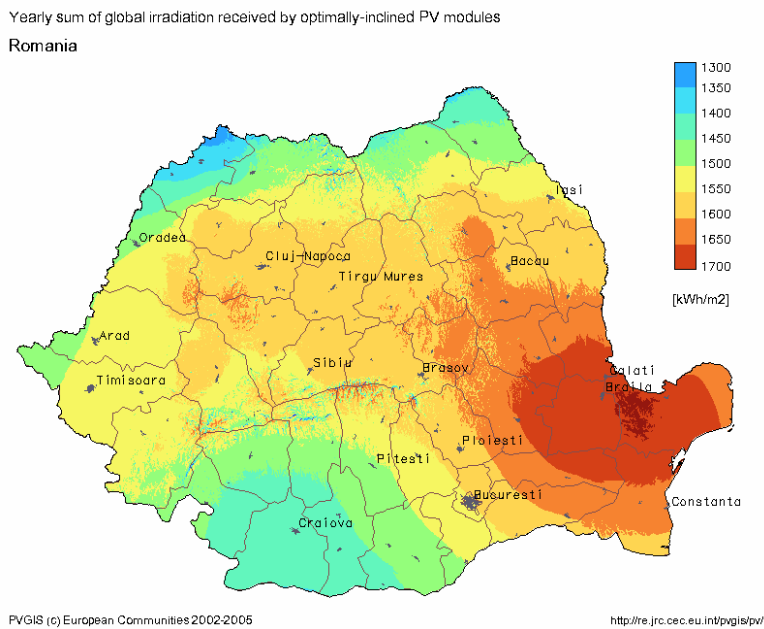
1. **Bartha, S.**, Farkas I., Teodoreanu, I.D., Seres,I., Farkas, M.(2006): Solar Photovoltaic Application, Bucuresti Editura Electra 2006 p 3-92.
2. **Bartha, S.**, Badarau I., Teodoreanu, I.D., Negreanu, C.,(2009): Teoria sistemelor de reglare automata in ingineria mediului, Bucuresti Editura Electra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

Fontosabb ábrák

8.1. Román Környezetvédelmi Minisztérium adatai a megújuló energiaforrásokra vonatkozó célkitűzések 2010-2020 periodusára

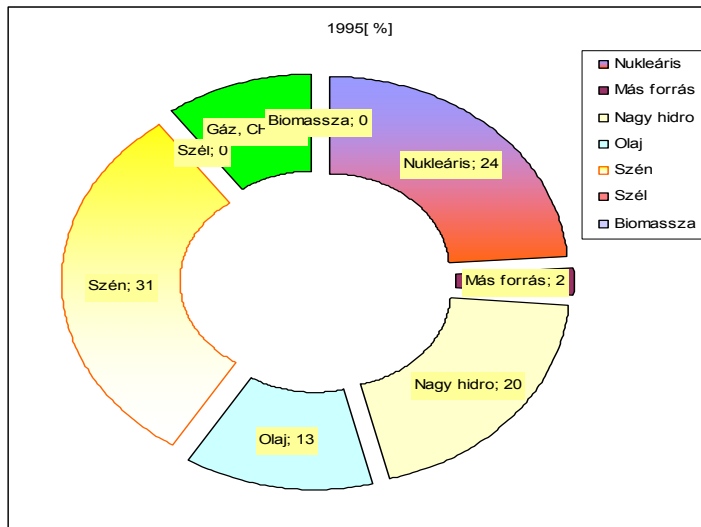


8.1.1. A környezetbarát energiák alkalmazásának a célkitűzései 2010-2020 között

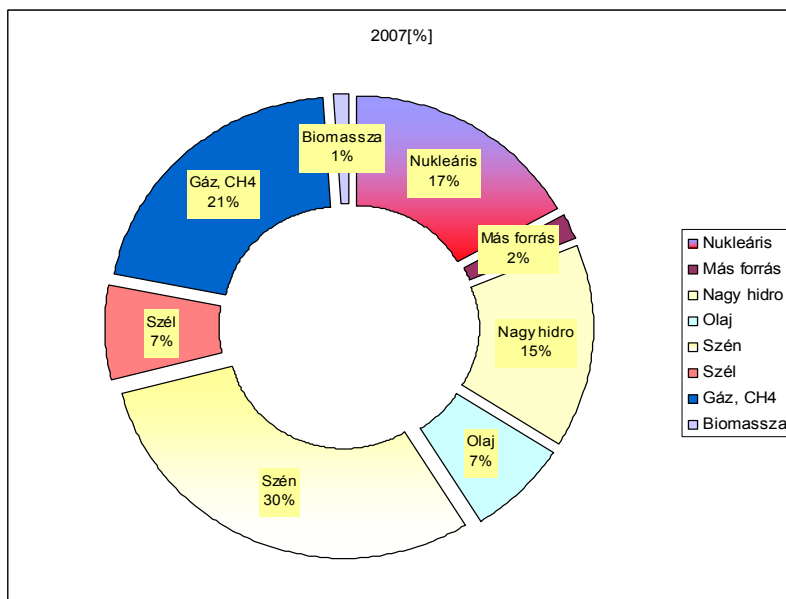


8.1.2. Románia területén a vízszintes felületre érkező átlagos napsugárzás eloszlása

8.2. Az Európai Unió energiamix helyzete 1995 és 2007 ben a EWEA and Plants POWERVISION alapján

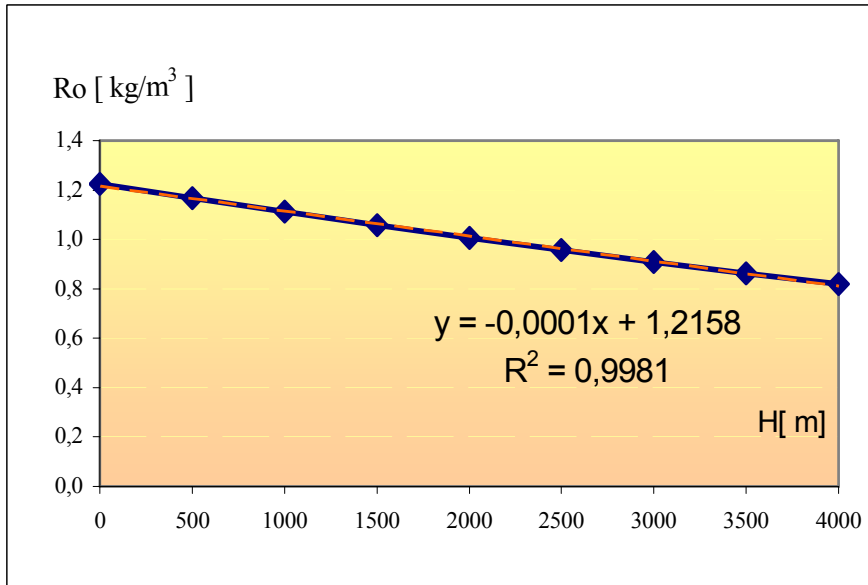


8.2.1. Energiamix 1995 adatai alapján

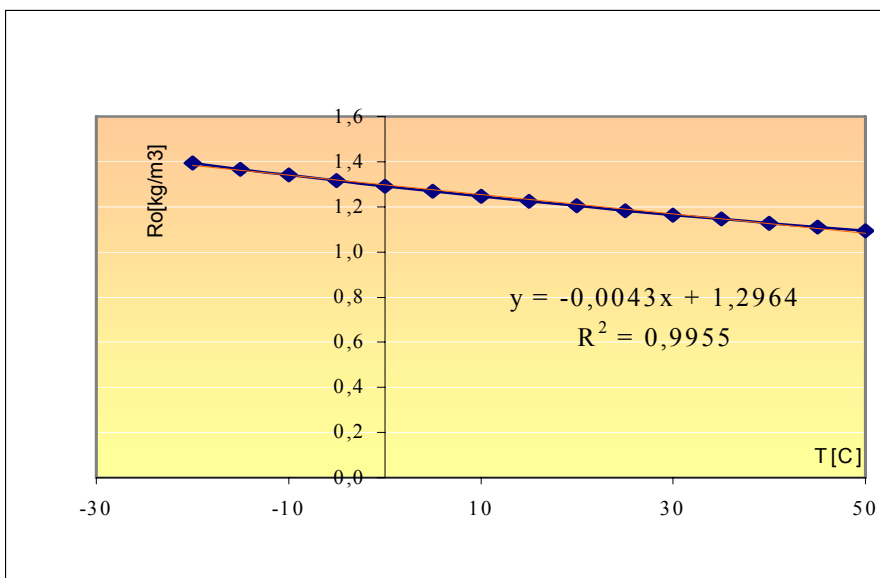


8.2.2. Energiamix 2007 adatai alapján

8.3. A levegő fizikai paramétereit

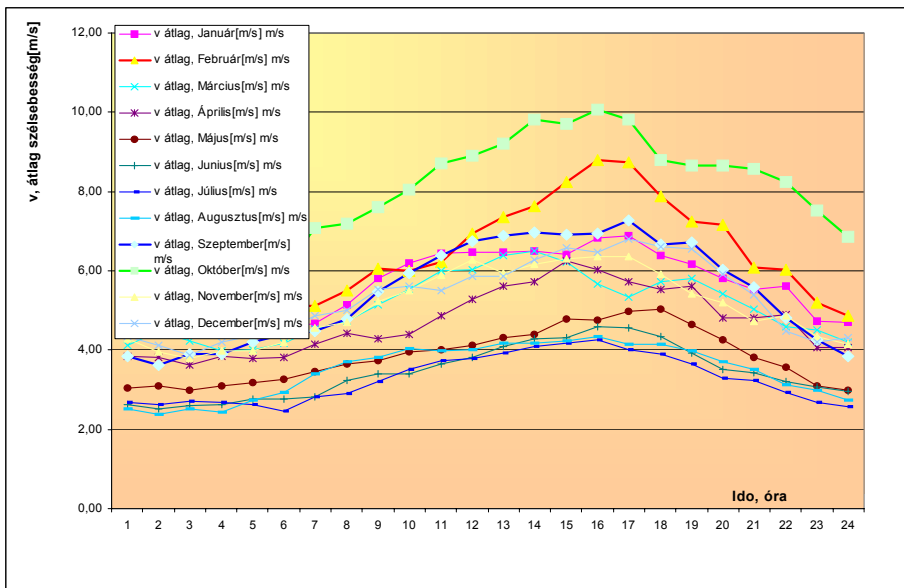


8.3.1. A levegő fizikai paramétereit, a légsűrűség változása a magassággal

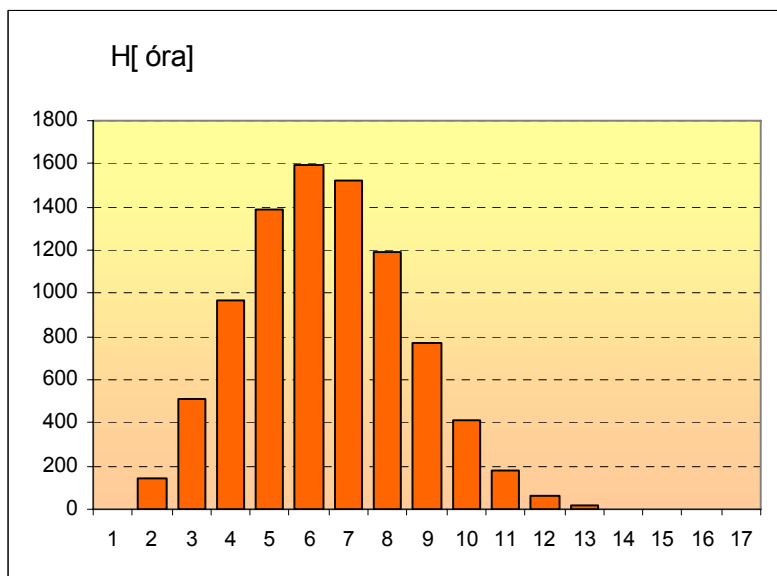


8.3.2. A légsűrűség változása a hőmérséklettel

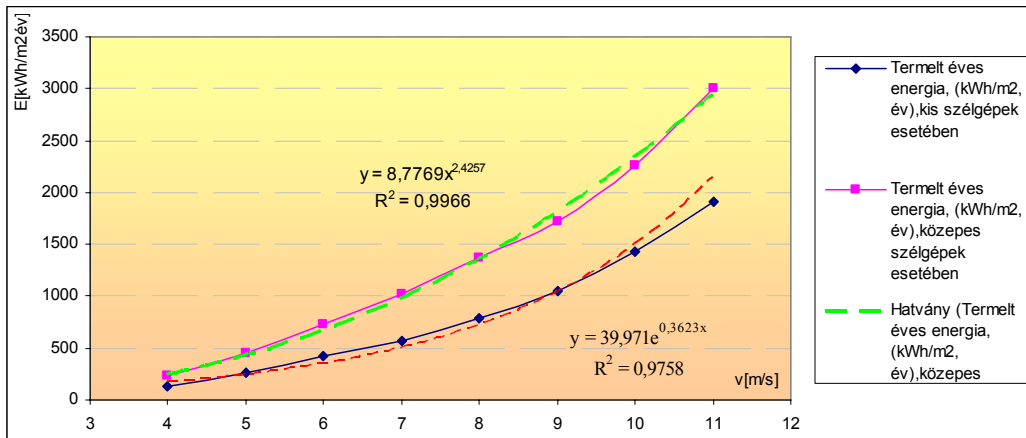
8.4. Szélsebesség adatok, grafikonok



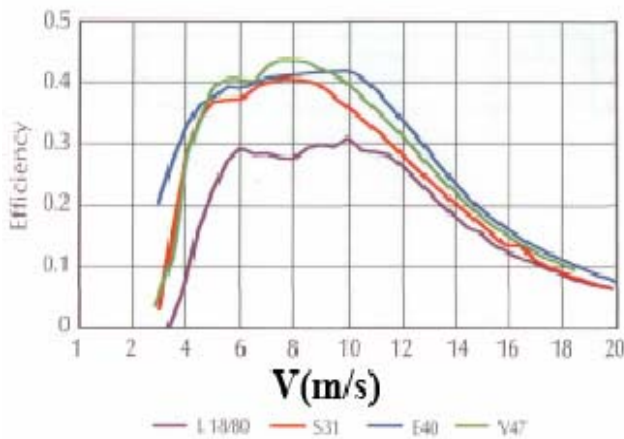
8.4.1. Havi átlag szélsebesség változása



8.4.2. Szélsebesség időbeni eloszlása



8.4.5. Kis- és közepkategóriás szélgépek energiatermelése

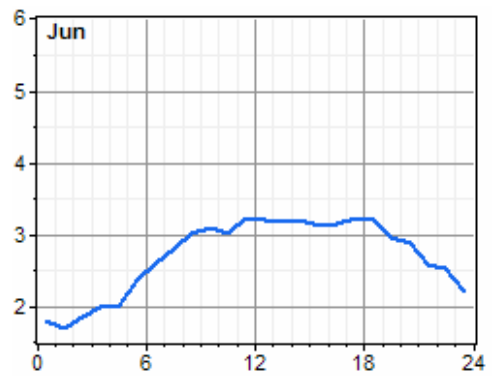
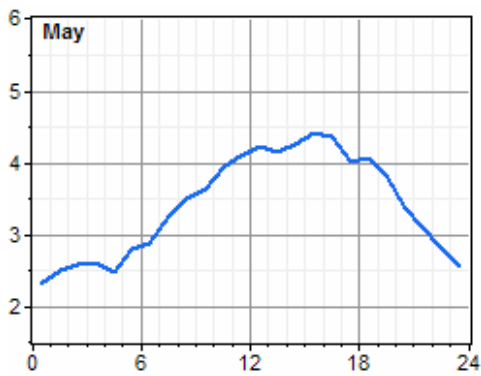
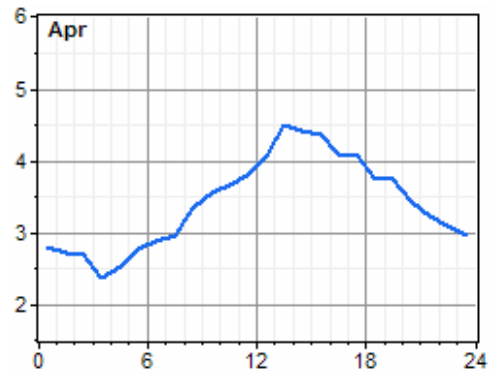
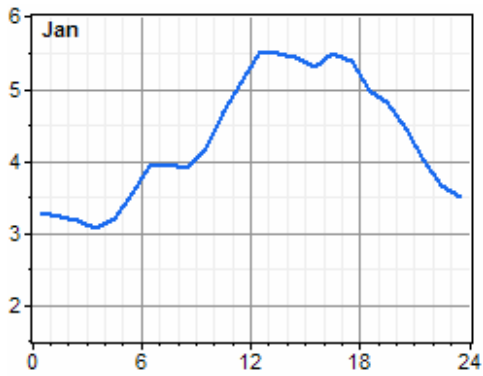


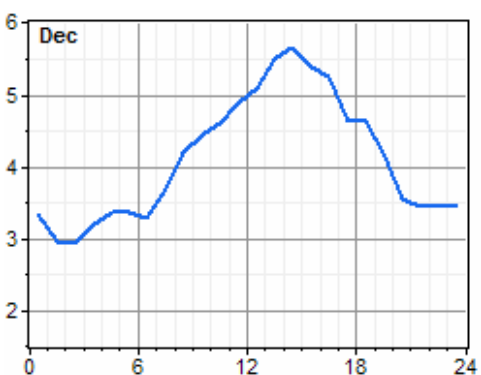
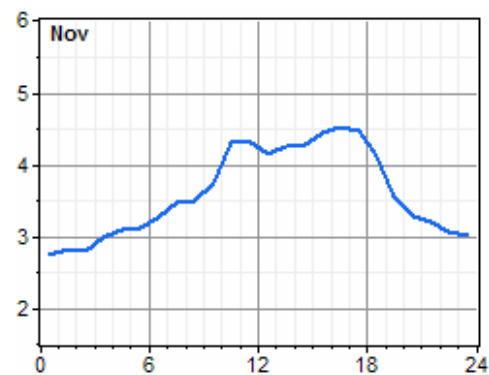
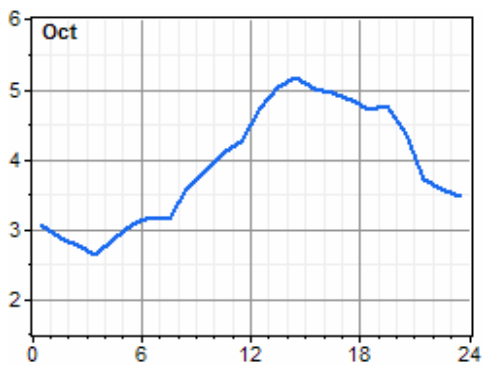
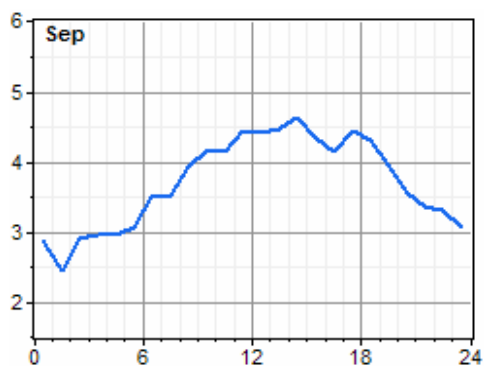
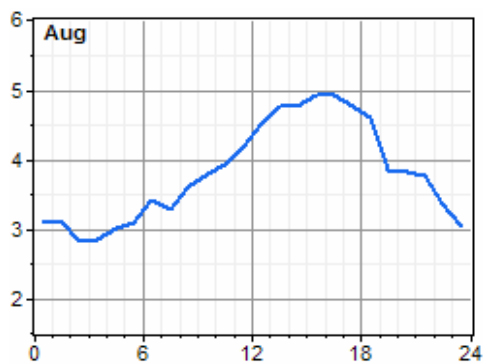
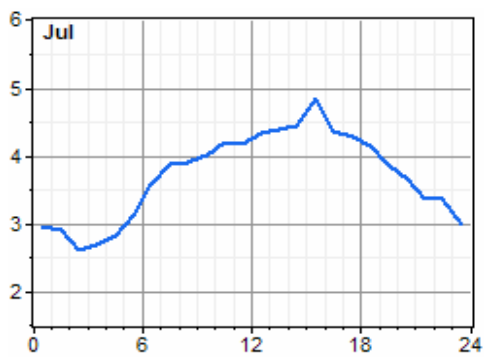
8.4.6. Szélgépek teljesítmény átviteli hatásfok változása a szélesebbéssel

8. Mellékletek

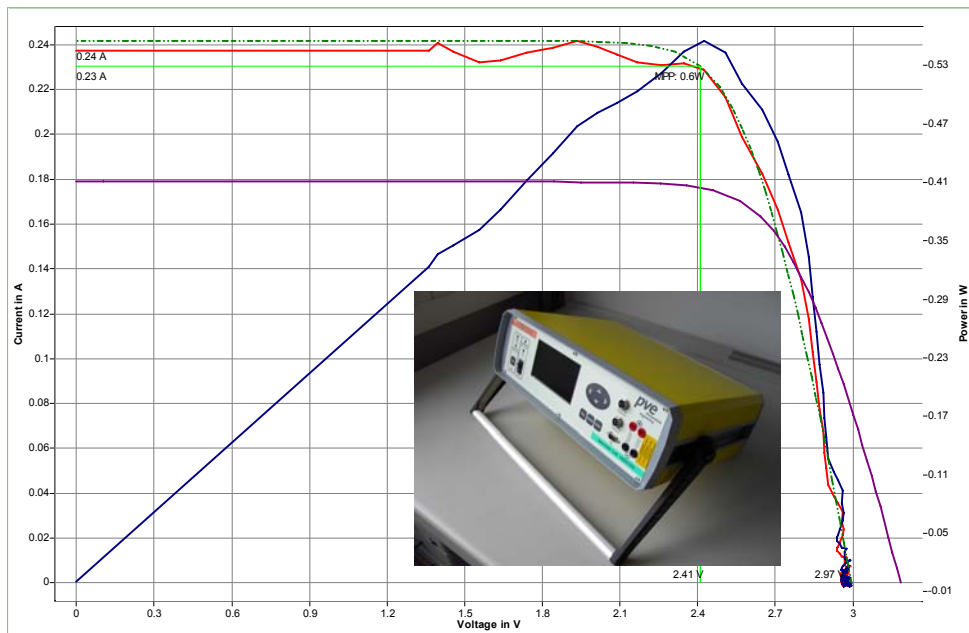
8.4.7. Napi szélesség profil havi változása

A vízszintes tengelyen óra, míg a függőlegesen a napi átlag szélesség látható, m/s egységben

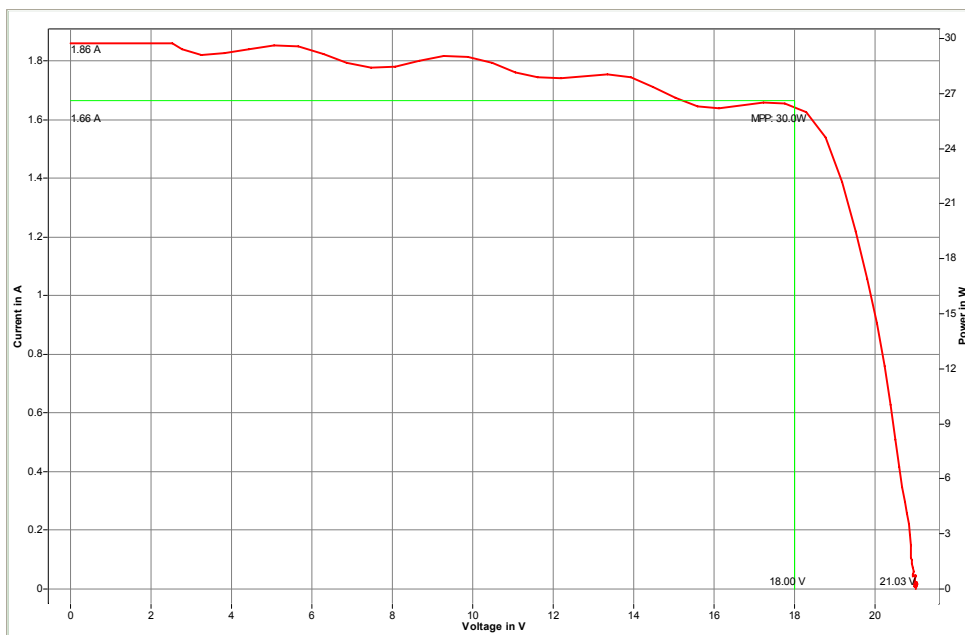




8.5.. PV modulok kísérleti I-V jelleggörbéje és PVE karakterograf



8.5.1. Amorf PV modul mért jelleggörbéje, IVE karakterográffal meghatározva



8.5.2. Kyocera KV 40 PV modul mért jelleggörbéje, IVE karakterográffal meghatározva

8.6. SUNDIN algoritmus Delphi programnyelven

```

procedure SunPositionDIN
  (var SunAzimuth, SunHeight : Double;
   TD : TDateTime; lat, lon : Double;
   TimeZone : Double);
(* Calculated the position on the sun according to DIN 5034
Parameter: TD : Date and time
           lat : latitude in degrees (North is positive)
           lon : longitude in degrees (East is positive)
           timezone : timezone (MET = 1)
Return:    SunAzimuth : azimuth of the sun in degrees
           (0=North, clockwise positive)
           SunHeight : sun height in degrees *)
var J, J2 : Double;
    decl : Double;
    Zgl, MOZ, WOZ, w : Double;
    sunaz, sunhi : Double;
    asinGs, acosAs : Double;
    year, month, day : Word;
    hour, min, sec, msec : Word;
begin
  DecodeDate (TD, year, month, day);
  DecodeTime (TD, hour, min, sec, msec);
  J2 := 365;
  if (year mod 4 = 0) then J2 := J2 + 1;
  J := DayOfYear(TD);
  MOZ := hour + 1.0/60*min + 1.0/3600*sec - TimeZone + 1;
  MOZ := MOZ - 4 * (15-lon)/60;
  J := J*360/J2 + MOZ/24;
  decl := 0.3948 - 23.2559*cos(rad( J+ 9.1))
          - 0.3915*cos(rad(2*J+ 5.4))
          - 0.1764*cos(rad(3*J+26.0));
  Zgl := 0.0066 + 7.3525*cos(rad( J+ 85.9))
          + 9.9359*cos(rad(2*J+108.9))
          + 0.3387*cos(rad(3*J+105.2));
  WOZ := MOZ + Zgl/60;
  w := (12-WOZ)*15;
  asinGs :=
cos(rad(w))*cos(rad(lat))*cos(rad(decl))+sin(rad(lat))*sin(rad(decl));
  if (asinGs>1) then asinGs := 1;
  if (asinGs<-1) then asinGs := -1;
  sunhi := grad (arcsin (asinGs));
  acosAs := (sin(rad(sunhi))*sin(rad(lat))-
sin(rad(decl)))/(cos(rad(sunhi))*cos(rad(lat)));
  if (acosAs>1) then acosAs := 1;
  if (acosAs<-1) then acosAs := -1;
  sunaz := grad (arccos (acosAs));
  if ((WOZ>12.0) or (WOZ<0)) then sunaz := 180 + sunaz
  else sunaz := 180 - sunaz;
  SunAzimuth := sunaz;
  SunHeight := sunhi;
end; (* SunPositionDIN *)

function DayOfYear(Date: TDateTime): word;
var
  Year,Month,Day: word;
begin
  DecodeDate(Date,Year,Month,Day);
  Result := Trunc(Date-EncodeDate(Year,1,1))+1;
end; (* DayOfYear *)

function rad (deg : Double) : Double;
begin

```

8. Mellékletek

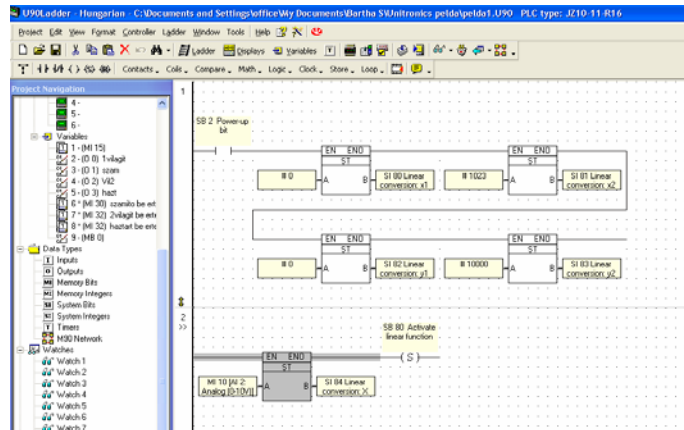
```

rad := deg*PI/180
end; (* rad *)

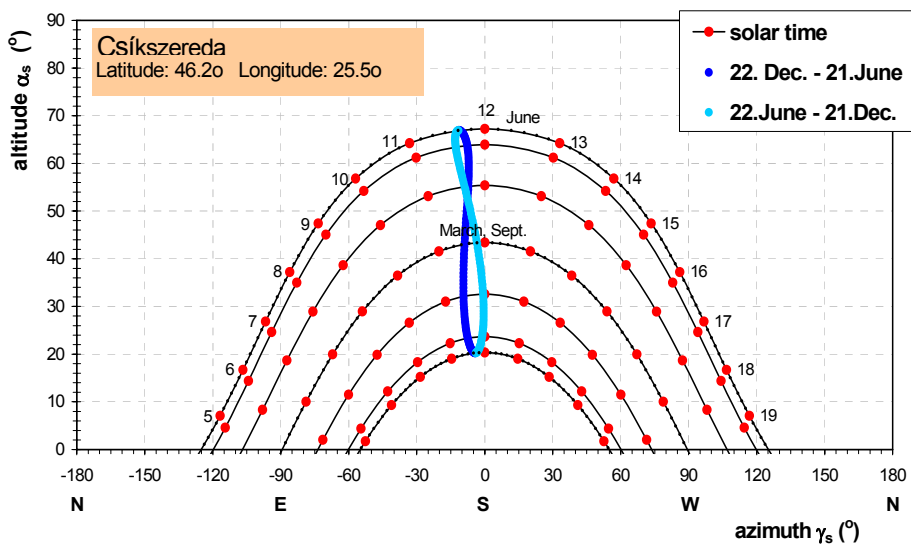
function deg (rad : Double) : Double;
begin
deg := rad*180/PI
end; (* grad *)

```

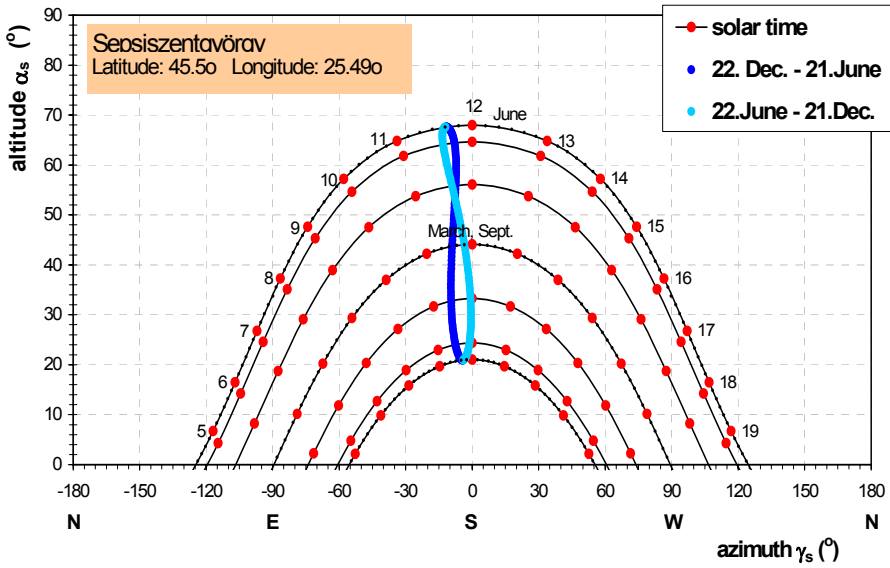
8.7.A PLC létrakódos programozás részlete



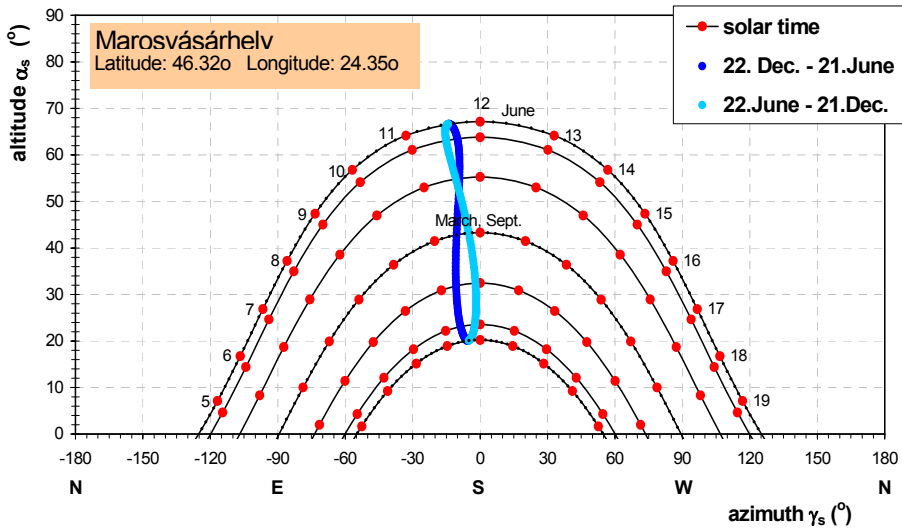
8.8. A következő melléklet néhány székelyföldi város nappálya diagramját szemlélteti, ezek sikeresen alkalmazhatók a kutatás-fejlesztés és oktatás során.



Csíkszereda nappálya diagramja



Sepsiszentgyörgy nappályadiagramja



Marosvásárhely nappályadiagramja

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkám végén megköszönöm mindazoknak a segítségét, akik hozzájárultak a tudományos dolgozat megszületéséhez.

Köszönetet mondok témavezetőmnek Dr. Farkas István professzornak megköszönve a fáradozását, aki kezdettől fogva a cél elérésére ösztönzött.

Továbbá köszönöm a Fizika Tanszék csapatának a fáradhatatlan segítség nyújtását a dolgozat kivitelezésekor.

Köszönöm Dr. Dan Teodoreanu az intézet vezetőjének a segítségét a mérések lebonyolítására alkalmazott eszközök és berendezések használatáért.

Végül és nem utolsósorban pedig köszönöm Családomnak türelmét és biztatását, mely munkám során végig elkísért.