

# SZOLÁRIS FOTOVILLAMOS RENDSZEREK ENERGIAVISZONYAINAK ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

OTKA T-042520 PROJEKT

Szakmai zárójelentés

## Fotovillamos rendszer energiatermelésének modellezése

*A fotovillamos illetve a hibrid (fotovillamos - szél) rendszerek modellezésére használt programok áttekintése.*

A modellezés során az NSol, a PV SYST 3, a PV Design Pro 4, a Solar Design Studio, az Nsol 4.2, és a Hommer programokat használtuk. A modellezés során összehasonlító elemzéseket készítettünk a különböző szoftverek által szolgáltatott eredményekről, amelyek alapján meghatározzuk, hogy az adott rendszerre melyik szimulációs program alkalmazása a legalkalmasabb.

Mivel a programok egy része olyan beépített eljárásokkal dolgozik, amelynek az algoritmusai nem ismert, külön figyelmet fordítunk azokra a programokra (TRNSYS, illetve Matlab+Symulink), ahol az eljárások nyílt forráskódúak, és az adott rendszerhez a fizikai egyenletek leképezhetők, ami biztosítja a konkrét fizikai folyamatok valóságú modellezését.

### *Hálózattól távoli családi ház fotovillamos rendszerének modellezése*

A modellezés során egy hibrid (nap és szélenergiás) rendszer méretezése és tervezése került kivitelezésre egy hálózattól távoli családi házra. A rendszer konfiguráció és a modellezés két helyszínre a Kárpátokban és a Fekete tenger partjára került kidolgozásra. A modellezéshez használt adatok az ENERPAC rendszerrel kerültek rögzítésre, 10 perces átlagok alapján, óránkénti bontásban. Két éves monitorozási adat került felhasználásra. A szimuláció a Solar Design Studio 4 programcsomaggal készült, ami a technikai paraméterek mellett gazdasági számítások (pl. megtérülési idő) végzésére is alkalmas.

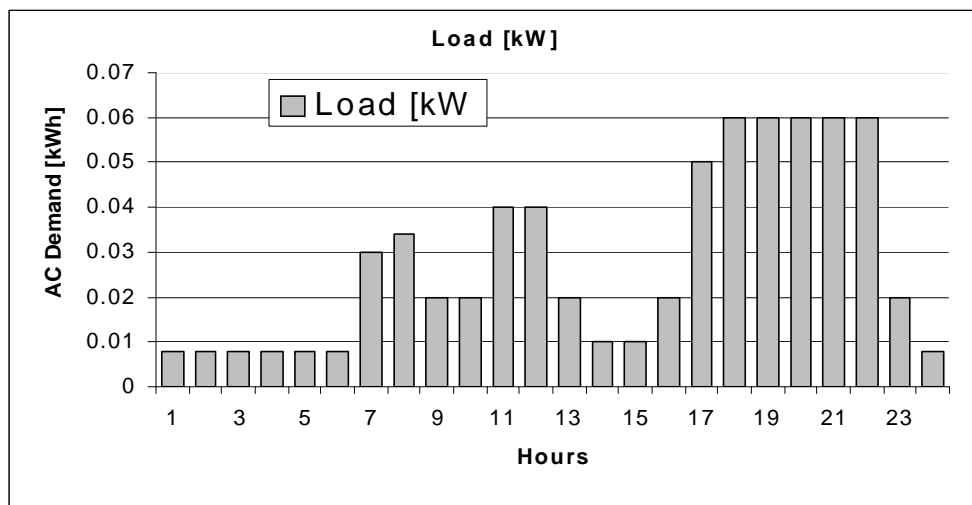
A besugárzási adatok a Meteororm program segítségével kerültek modellezésre.

Az fotovillamos energiaellátó rendszer tervezésekor a legfontosabb a fogyasztók feltérképezése és az energiaszükséglet meghatározása figyelembe véve, hogy a rendszer egész évben folyamatosan, vagy csak nyári szezonban üzemel. Az alkalmazásunk jelen esetben folyamatosan működik és a számításokat ennek a függvényében végeztük el.

Az alábbi táblázatban az alkalmazás napi energiafogyasztási igényét határozzuk meg.

Fogyasztók	Fogyasztók száma	Teljesítmény (W)	Napi használat (óra)	Napi energia fogyasztás (Wh)
Benti világítás	3	13	5	195
Külső világítás	1	8	16	128
PC	1	80	1	80
TV/Rádió	1	50	5	250
Más kis fogyasztók	1	120	1	120
Stand by fogyasztók	1	2	8,5	17
Napi energiafogyasztás (Wh/nap)				670

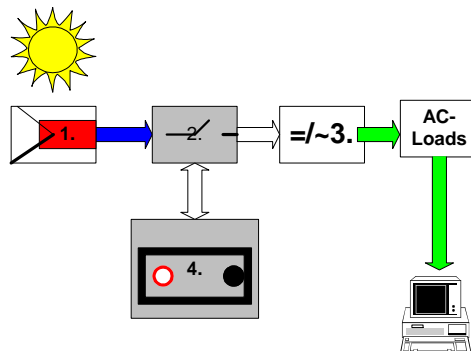
A továbbiakban feltételeztük, hogy a rendszer biztosítani tudja a napi 3,6 kWh/nap energia-szükségletet és az akkumulátor telep 4 nap autonómiát. Az 1. ábra a fogyasztási igény napi lefutását mutatja.



1. ábra Az átlagos napi villamos energia igény

A rendszer felépítése

A rendszer sematikus vázlatát a 2. ábrán látható.

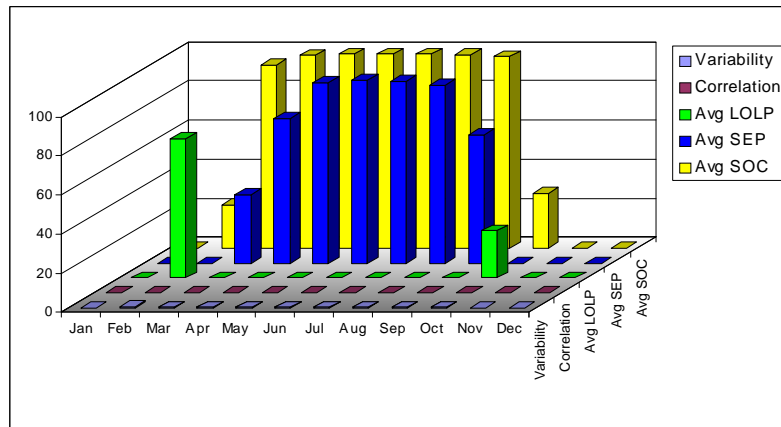


2. ábra A rendszer sematikus vázlatát

A megépített rendszer 12 fotovillamos modult (1 - Kyocera KC40), egy C40 Trace töltésszabályozót (2), és egy Piccolo 21 típusú invertert (3) tartalmaz. Az akkumulátorok (4) Rex Homas típusúak.

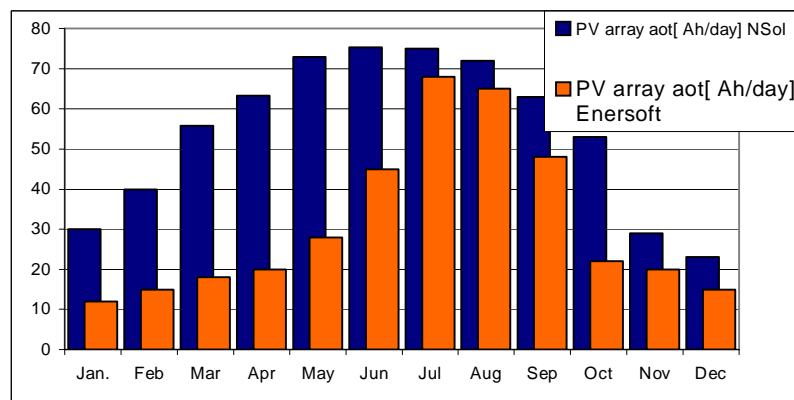
## Szimulációs eredmények

A 3. ábra az akkumulátorok töltöttségi állapotát mutatja be a kidolgozott modell szerint.



3. ábra Az akkumulátorok töltöttségi állapota havi bontásban

A 4. ábrán a rendszer havi energiamérlege látható a szimuláció és az Enersoft mérés alapján. Az eltérés a meteorológiai modell és a tényleges időjárási adatok eltéréséből származik.



4. ábra A rendszer energiamérlege havi bontásban

A gazdasági számítások alapján a megtérülési idő 24 év, ami nagyon hosszú távú befektetést jelent egyenlőre.

### A gödöllői 10 kWp teljesítményű fotovillamos rendszer modellezése

Mivel a teljes tervezett rendszerben két különböző típusú alrendszer van így a rendszer szimulációs vizsgálatát mindkét alrendszer típus esetében el kell végezni. A szimulációs műveletek elvégzéséhez az Nsol szimulációs szoftvert alkalmaztuk, amely egy jól kidolgozott, kifejezetten szoláris szimulációra alkalmas szoftver.

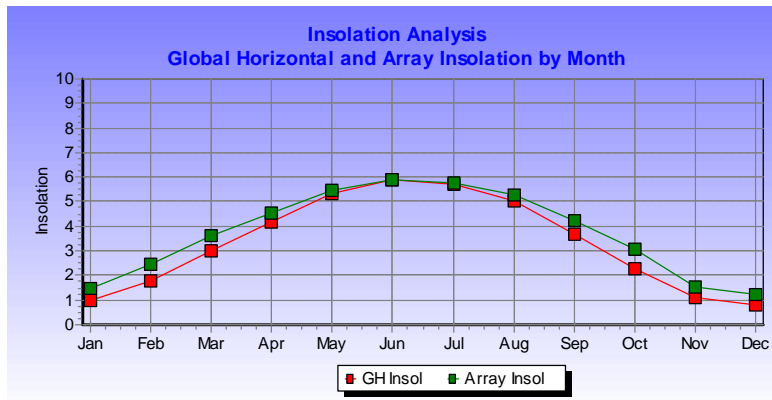
A folyamatok fontosabb elemei:

- az alkalmazási adatok feltüntetése,
- a fontosabb beeső sugárzási adatok kiválasztása az adatbázisból,
- és az előállított energia adatok.

A következő lépés a rendszer fizikai tulajdonságainak és villamos jellemzőinek megadása, úgy mint a rendszer egyen vagy váltófeszültsége és az alkalmazott inverter típusa. A szoftver

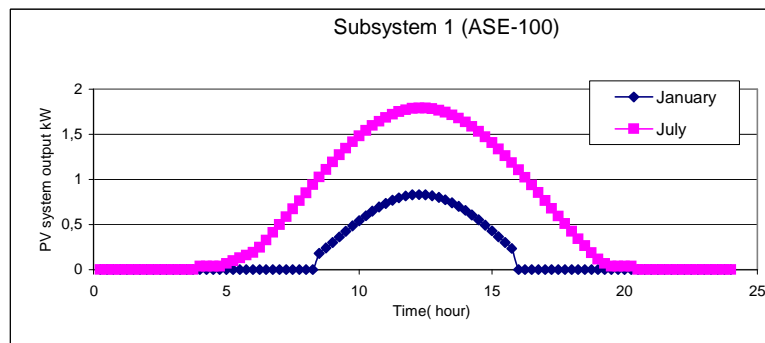
eszköz adatbázisát főként az USA-ban használatos berendezések adják, de a program lehetővé teszi az adatbázis bővítését, esetünkben a tervezett rendszer adatainak adatbázisba történő felvételét is.

Végezetül a szimulációs folyamatból kapott információk alapján képet kaphatunk a rendszer viselkedéséről, illetve az energia mérlegéről. A kapott adathalmaz kiértékelhető grafikus és táblázatos formában is. Az 5. ábra a besugárzás modellezett értékeit mutatja. A két alrendszer típus (ASE-100 és DS-40) szimulációs eredményeit a következőkben szemléltetjük.

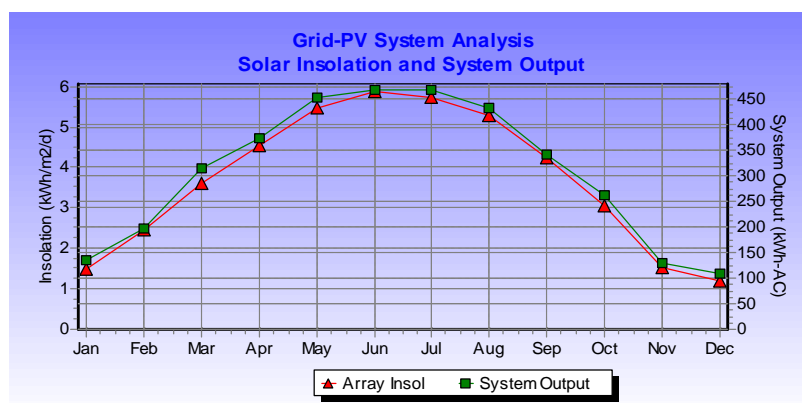


5. ábra A helyszín besugárzásának modellezése

A besugárzási adatokból az egy modulra, illetve részrendszerre eső energiahasznosítás is modellezhető. Az ASE-100 alrendszerre napi energiahozam eloszlás egy nyári és téli hónapra illetve a becslést havi energiahozam a 6-7. ábrákon látható. Ugyanilyen modellezést végeztünk a DS40 alrendszerek esetén is.

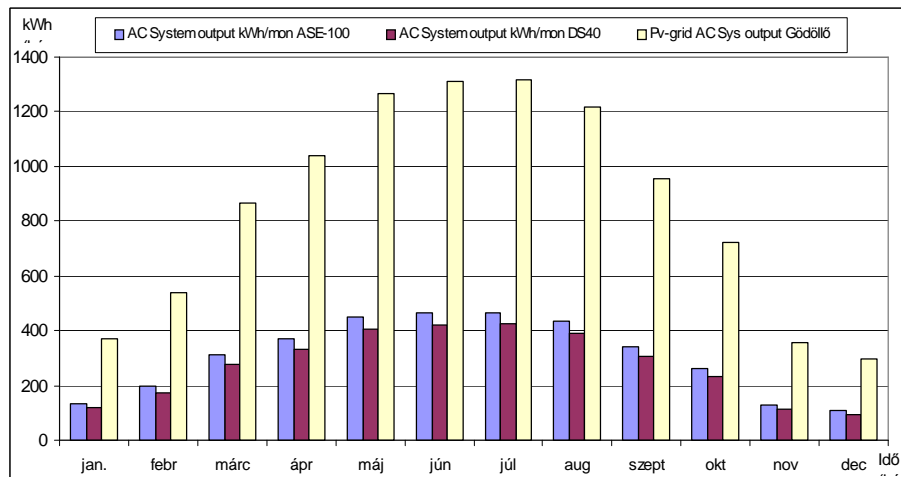


6. ábra Az ASE-100 alrendszer napi energiahozam eloszlása



7. ábra Az ASE-100 alrendszer becslött energiahozamának évi eloszlása

Végezetül a teljes rendszer becsült energiatermelésének értékeit havi lebontásban a 8. ábrán ábráztuk, ezt vetettük egybe a későbbiekben a rendelkezésre álló mérési eredményekkel.



8. ábra A rendszer modellezett éves energiatermelése havi bontásban

#### *A RetScreen PV200 program használata a modellezésben*

Az Excel szoftverre épülő, ingyenesen letölthető program hálózatra kapcsolt és autonóm fotovillamos rendszerek, valamint fotovillamos vízszivattyúzás modellezésére használható.

A rendszer a technikai jellemzők (modulok száma, modul paraméterei, inverterek adatai, stb.) definiálása után nem csak a várható energiahozam modellezésére használható, hanem gazdasági analízis is végezhető vele. A megvalósíthatóság vizsgálat mellett a rendszerből kinyerhető energia költsége, illetve a megtérülési idő is meghatározható, különböző inflációs értékek és energia árak esetén, hosszú távú trendek figyelembe vételével. A modellezéssel elért egyik eredmény az, hogy az amorf szilícium részrendszer a modellezés szerint mintegy 7%-al több energiát termel KW-onként, mint a polikristályos részrendszer. Ez a megtérülési időben is jelentősen megmutatkozik, különös tekintettel arra, hogy az amorf szilícium modulok beszerzési költsége is kedvezőbb volt.

A szoftver az üvegházhatásért felelős gázok megtakarított értékét is meghatározza, mint egy fontos környezetvédelmi jellemzőjét a napenergiás rendszernek.

## Napenergiás potenciál modellezése neurális hálóval

A kutatás részfeladatának célja olyan neurális háló meghatározása volt, amely az adott földrajzi helyen adott nap és óra értékhez várható hőmérséklet és sugárzás értéket becsül.

### *Adatgyűjtés*

A Szent István Egyetem Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén található adatgyűjtő és monitorozó rendszer mérési adatait használtuk a modell készítésénél.

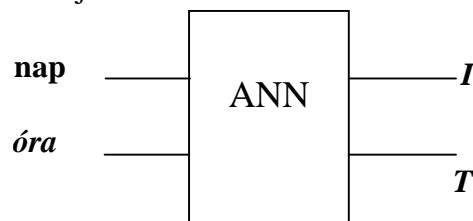
1998. 09. 01.-től percenként állnak rendelkezésre meteorológiai adatok, azonban az adatgyűjtő rendszer hibás működése illetve leállása miatt az adatok hiányosak. A szenzor érzékenységből adódóan az éjszakai 0 sugárzás értéknek kis negatív értékbe való átcsúszása is előfordult, ezeket az adatokat nem korrigáltuk.

Az adatok közül a júniusiakat választottuk ki feldolgozásra, a percenkénti adatokból óránkénti átlagértéket határoztunk meg.

A neurális hálós modelltől azt vártuk, hogy a rendelkezésünkre álló 4 év mérési adataiból 3 év adatait felhasználva hőmérséklet és sugárzás értéket becsüljön az adott júniusi nap adott órájára.

### *A neurális háló struktúrájának tervezése*

A struktúra tervezésénél és a tanításnál az 1999, 2000 és 2001 év júniusi adatait használtuk. Az alapproblémát a 9. ábra mutatja.



9. ábra Az egyszerűsített struktúra

Bemenő adatok a júniusi nap és óra, kimenő értékek a sugárzás és a hőmérséklet. Az ANN modellezésnél a MATLAB 6.1 és a Neural Network Toolbox szoftverekkel dolgoztunk.

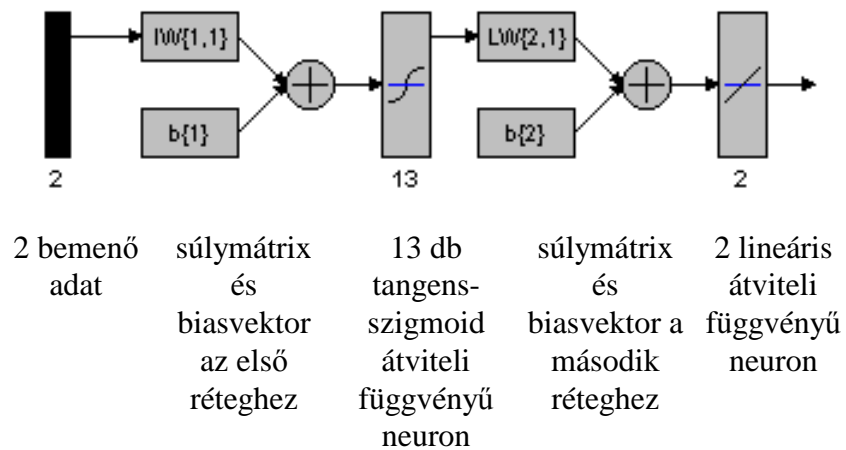
A modell jószágát a mért és az NN által generált hőmérséklet és sugárzás értékek közötti átlagos eltérés négyzettel definiáltuk, ennek minimalizálása volt a cél. Meteorológiai adatokról lévén szó, ugyanazokhoz a bemenő értékekhez (nap és óra) más és más mért hőmérséklet és sugárzás értékek tartoznak a különböző években. Így az elfogadható pontosságú becslést adó struktúra kiválasztása nem könnyű feladat.

A legegyszerűbb ANN szerkezetből indultunk ki: 2 réteg; a második rétegben - a probléma által determináltan - 2 neuronnal, melyekhez lineáris átviteli függvényt rendeltünk. Az első réteg neuronjainak számát az átviteli függvényeket és a tanuló algoritmust változtatva kerestük a problémát leíró ANN struktúrát.

A szoftver által ismert hálótípusok közül jó közelítést adott az ún. általánosított regressziós (generalized regression) hálótípus, azonban ennek jellemzője a nagy neuronszám, mivel az első rétegben annyi neuronnal dolgozik, amennyi a bemenő adatsorok száma.

Ennél kevésbé pontos, de elfogadható közelítést adott az előre vezetési (feed-forward) backpropagation tanulóalgoritmus 13 tangens-szigmoid átviteli függvényű neuronnal a rejtett

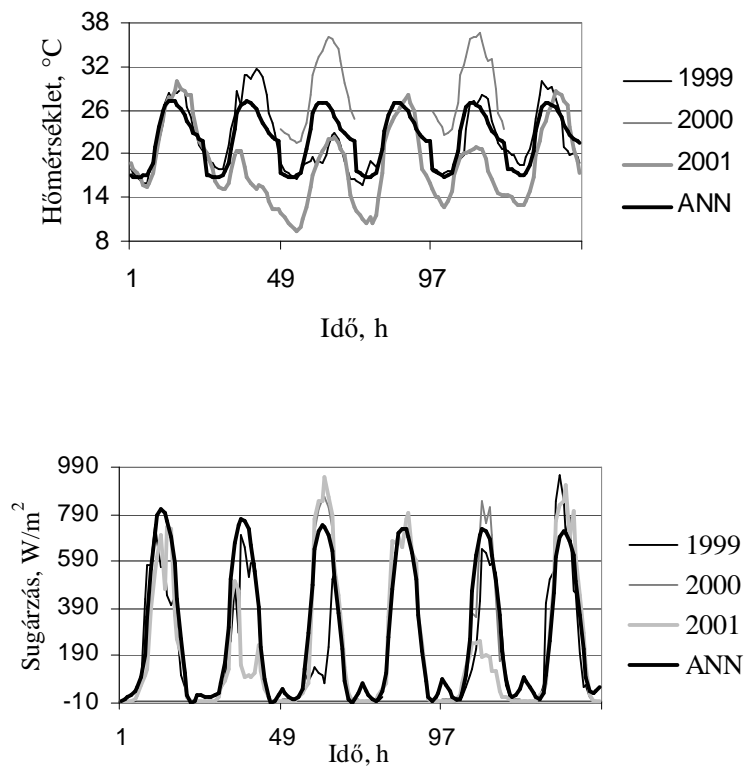
rétegben. Több réteg illetve visszacsatolás alkalmazása esetén sem kaptunk jobb közelítést, így ezzel a 10. ábra szerinti struktúrával dolgoztunk a továbbiakban.



10. ábra A legjobb közelítést adó ANN belső struktúrája MATLAB jelölésszerrel

*Az ANN tanítás eredménye*

A tanításnál használt adatsorokat úgy kaptuk, hogy a 3 év adatait a hiányzó részek kivágása után egymás után fűztük. A 10. ábra szerinti struktúra tanításának eredményét mutatja a 11. ábra.



11. ábra A tanítás eredménye

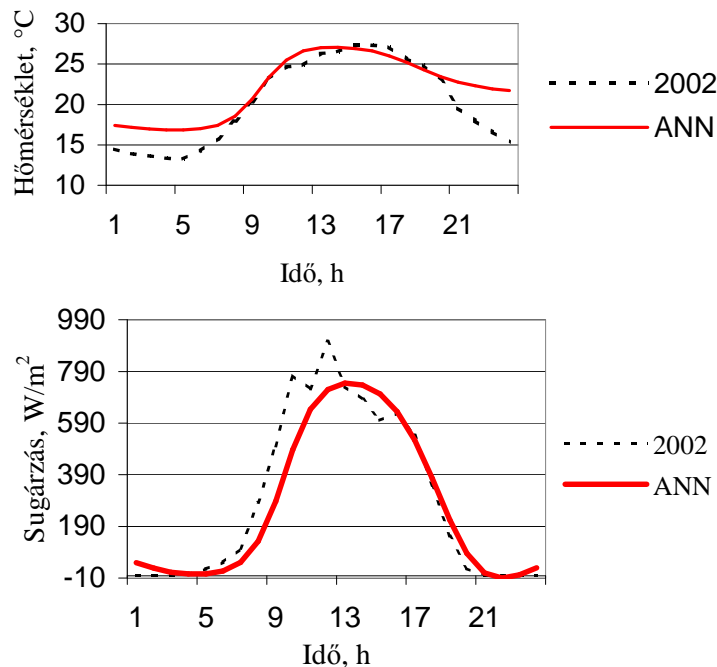
Június 10-15 időtartamra a neurális háló által generált sugárzás és hőmérséklet értékekhez viszonyításként feltűntették a tanulóhalmazbeli értékeket is, ahol rendelkezésre állnak. Jól látható, hogy a neurális hálóval kapott adatok a tanítás során használt értékek közé esnek, de az éjszakai 0 körüli sugárzásértékek hibája felerősödve jelent meg.

### Az ANN validálása

A neurális hálós eredményt az 1. részben a 4. év adataival, a 2. részben pedig egy más módszerrel kapott becslés eredményével vetjük össze.

#### I. vizsgálat

A rendelkezésünkre álló 4. év (2002) június havi adatait hasonlítottuk össze a neurális háló által generált eredményekkel, a 12. ábra a június 12-re NN segítségével becsült és a 2002-ben mért hőmérséklet és sugárzás értékeket mutatja.



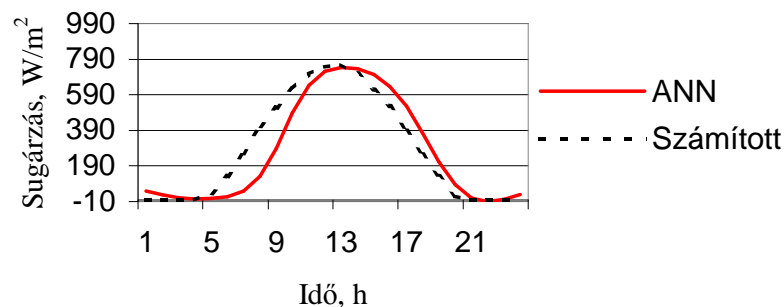
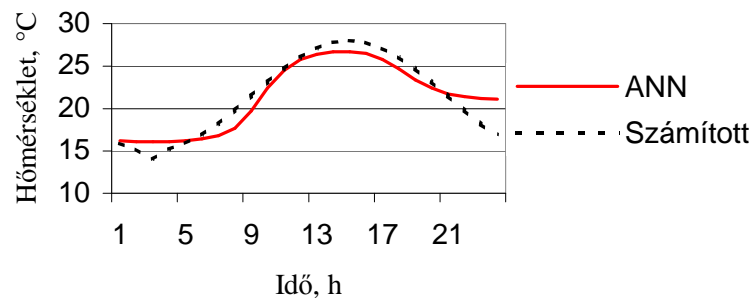
12. ábra A validálás eredménye

Megállapítható, hogy amennyiben a 4. év adatai a tanulóhalmazbeli 3 év adatai közé esnek, a modell jó közelítést ad, azonban amikor eltérnek a 4. év adatai a 3 tanult év adataitól akkor eltérések lesznek, ugyanis ekkor is a tanult adatokat adja vissza a neurális háló. Az átlagos eltérés a hőmérséklet értékek között  $2,1\text{ °C}$ , a sugárzás értékek között  $62,6\text{ W/m}^2$ .

#### II. vizsgálat

Kb. 100 év meteorológiai adatait felhasználva az adott földrajzi helyre június 12-re számított hőmérséklet és sugárzási adatokat hasonlítottuk össze a neurális hálóval generált eredményekkel (13. ábra).





13. ábra A második validálás eredménye

A neurális hálóval kapott eredmények jól közelítik a más módszerrel számított értékeket. Az átlagos eltérés a hőmérsékletnél 1,3 °C, a sugárzásnál 78,9 W/m<sup>2</sup>.

#### Az ANN modellezés eredményei

- Sikerült a problémához elfogadható közelítést adó ANN struktúrát találni.
- A modell a tanított adatokat jól visszaadta.
- A tanításnál több év adatát felhasználva várhatjuk, hogy ez a neurális háló más módszerekkel számított értékekhez jól közelítő értékeket ad.
- Várhatjuk, hogy ez a struktúra alkalmas az adott helyszínen más hónap adatainak becslésére is, ha erre tanítjuk meg.
- Várhatjuk, hogy ez a struktúra alkalmas más földrajzi helyre vonatkozóan sugárzási és hőmérséklet adatok jóslására, ha a tanításnál arra a helyre vonatkozó adatokat használunk.

#### Autonóm PV rendszer elemeinek optimalizálása a modellezés alapján

Az adott földrajzi helyre vonatkozólag a sugárzásértékekből a felület tájolásának és dőlésszögének függvényében megadható a szoláris potenciál. Ebből konkrét modul típusra adott terhelés esetén meghatározható a modul által nyerhető teljesítmény.

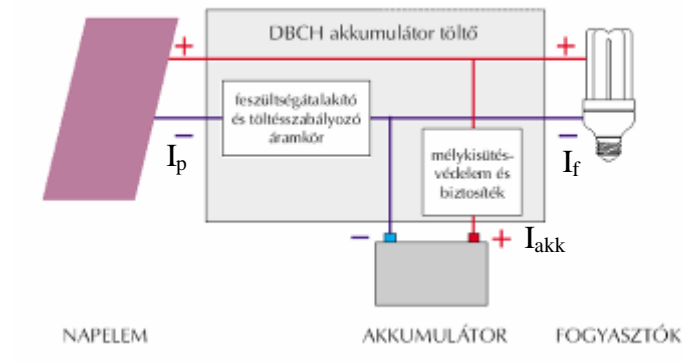
Adott U feszültségű PV rendszer esetén a modulnál jelentkező  $I_p$  áramerősség a  $P_p$  modul teljesítményből számítható:

$$I_p = P_p / U.$$

Ismerve a fogyasztási oldalon a szükséges  $P_f$  teljesítményt, meghatározható a fogyasztás kielégítéséhez szükséges  $I_f$  áramerősség:

$$I_f = P_f / U.$$

$I_p$  és  $I_f$  viszonya dönti el, hogy az akkumulátor éppen töltődik, mert több szoláris energia keletkezett a PV modulnál mint amennyit fogyasztunk, vagy töltöttsége csökken, mert a bejövő szoláris energia nem fedezi a fogyasztást. Az 14. ábrán a PV rendszer elvi működési sémája látható.



14. ábra PV rendszer működési vázlata

Tehát az akkumulátornál jelentkező  $I_{akk}$  áramerősség:

$$I_{akk} = I_p - I_f$$

Ebből az időegység alatt átáramlott töltésmennyiségekre ( $Q = \int I dt$  összefüggés alapján):

$$\Delta Q_{akk} = Q_p - Q_f,$$

ahol  $\Delta Q_{akk}$  az akkumulátor töltöttségének változása ezen időegység alatt.

Az akkumulátorok típustól függően különböző hatásfokúak, és károsodás nélkül különböző mértékig tölthetők túl és meríthetők le.

A méretezés célja, hogy ismert szoláris viszony és fogyasztás esetén adott PV modul és akkumulátor típusra vonatkozóan, meghatározni az ellátó PV rendszer moduljainak méretét és a szükséges akkumulátorkapacitást.

#### A modul méretének optimalizálása

A vizsgált időszakra meghatározzuk a modulnál keletkezett  $E_p$  és a fogyasztandó  $E_f$  energiát:

$$E_p = \int_0^T P_p dt \quad \text{ill.} \quad E_f = \int_0^T P_f dt.$$

Ha az akkumulátor hatásfoka  $\eta_1$ , és az inverter hatásfoka  $\eta_2$ , a hasznosítható energia:

$$E = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot E_p, \quad \text{ennek az energiának kell fedeznie a fogyasztást.}$$

Felhasználva, hogy a teljesítmény a modul felületével egyenesen arányos:

$$\eta_1 \eta_2 A \int_0^T p_p dt = \int_0^T P_f dt, \quad \text{ahol } p_p \text{ egy modulfelületre eső teljesítmény.}$$

Diszkrét idejű mérések esetén:  $\eta_1 \eta_2 A \sum_{i=1}^N p_{pi} \cdot \Delta t_i = \sum_{i=1}^N P_{fi} \cdot \Delta t_i$ , amiből  $A = \frac{\sum_{i=1}^N P_{fi} \cdot \Delta t_i}{\eta_1 \eta_2 \sum_{i=1}^N p_{pi} \cdot \Delta t_i}$ .

A számított  $A$  értéket felfelé kerekítve kapjuk meg a szükséges modulok számát. Ez azt jelenti, hogy hálózathoz kapcsolt PV rendszer esetén a kapott számú modul párhuzamos kapcsolásával biztosítható, hogy szoláris energia fedezze a fogyasztási igényt. Ha többlet

szoláris energia jelentkezik akkor azt a hálózat ( $\infty$  kapacitású akkumulátor) felveszi, és szoláris energia hiány esetén a fogyasztók üzemeltetéséhez a hálózat biztosít energiát.

### *Akkumulátor kapacitás optimalizálása*

Az előző pontban meghatározott PV modulszámhoz (modulméret) keressük az optimális kapacitású akkumulátort.

Itt meghatározó szerepe van a fogyasztási profilnak. Lényeges, hogy időben hogyan viszonyul egymáshoz a rendszerbe érkező szoláris energia és a fogyasztás. Általában a fogyasztás nem függvényt írható le, hanem jellegzetes adatsor formájában adható meg. Akkumulátortípust választva a hatásfok és az optimális töltöttségi tartomány adott, így numerikus megoldással egy viszonylag kis kapacitásból kiindulva lépésről-lépésre megadható a  $t_i$  időbeli akkumulátortöltöttségből valamint a modul felől érkező és a fogyasztó felé irányuló töltésáramlásból a  $t_{i+1}$  időbeli akkumulátortöltöttség.

A túltöltés elleni védelmet az akkumulátortöltő biztosítja, ez úgy vehető a modellnél figyelembe, hogy a töltöttség  $t_{i+1}$ -nél marad a  $t_i$ -beli értékű.

Ha a töltöttség a mélykisülés értékére csökken akkor szükséges növelni az akkumulátor kapacitását, és újra vizsgálni a töltöttség értékeket.

Ha a teljes vizsgált időtartamra vonatkozólag a megengedett tartományban marad az akkumulátor töltöttsége, akkor mondhatjuk, hogy a vizsgált akkumulátor kapacitás megfelelő.

### *Alkalmazási példák*

A sugárzási adatok az optimálisan tájolt modul síkjában a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszéken működő meteorológiai állomás által mért értékek. A sugárzáshoz tartozó teljesítmények a gyártó által megadott görbék segítségével lettek kiszámítva.

Meghatároztuk, hogy ezen földrajzi helyre vonatkozó sugárzási viszonyok között a DS40 modul típus és DBCH akkumulátortípus esetén különböző fogyasztási profiloknál mekkora méretű modulra és mekkora kapacitású akkumulátorra lenne szükség különböző időtartamú üzemeltetésnél autonóm PV rendszer esetén.

A kiválasztott PV modul és akkumulátor jellemzői:

típus: DS40

felület: 0,8 m<sup>2</sup>

max. teljesítmény: 40 W

munkaponti áramerősség: 0,9 A

munkaponti feszültség: 44,8 V

típus: DBCH 12

hatásfok: 90%

feszültség: 12 V

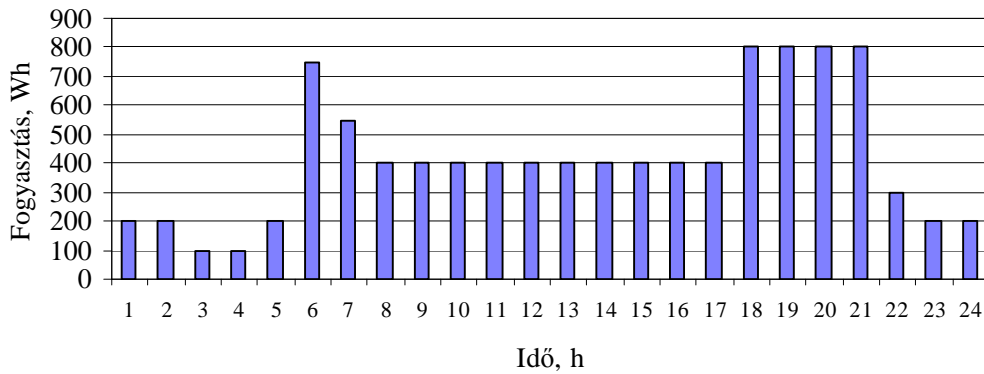
kapacitás: 100 Ah

mélykisülés: 78%

túltöltés: 110%

*Az adott földrajzi viszonyok között átlagos magyar háztartás energiaszükségletét fedező autonóm PV rendszer*

A 15. ábrán látható grafikon az óránkénti energiaigényt mutatja; a világítás, a konyha a háztartás és a szórakozás minden villamos energiát fogyasztó eszközének energiaigényét figyelembe véve.



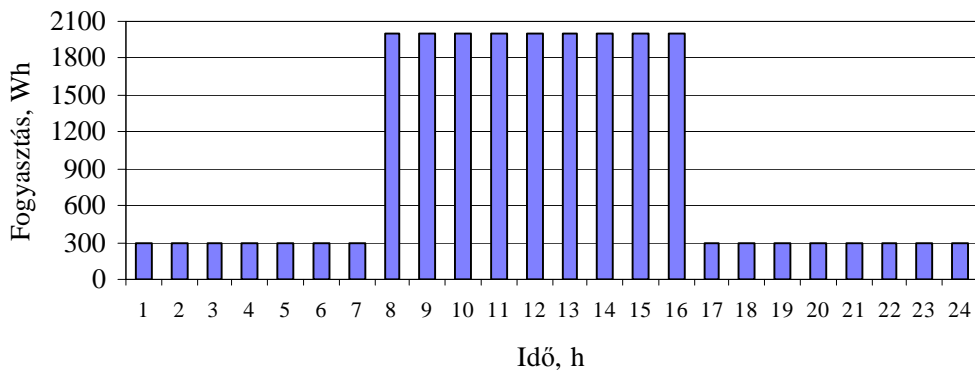
15. ábra Az igényelt energia óránkénti eloszlása

A napi energiaigény 10 kWh, minden napra ezt a fogyasztást tervezve a méretezés eredménye:

Időtartam	modulok száma [db]	akkumulátor kapacitás [Ah]
1 hónap (június)	57	10000
1 hónap (november)	267	10600

*A Tanszék energiaszükségletét fedező autonóm PV rendszer*

A Tanszéken a világítás, a számítógépek, a mérőberendezések és néhány konyhai eszköz energiaszükségletét kell figyelembe venni. Munkaidőben 2 kW, egyébként 300 W a teljesítményigény (lásd 16. ábrán).



16. ábra Az igényelt energia óránkénti eloszlása

Minden napra ezt az igényt feltételezve a számítás eredményei:

Időtartam	modulok száma [db]	akkumulátor kapacitás [Ah]
1 hónap (június)	118	19100
1 hónap (november)	554	19500

## **A projekt során elvégzett mérések**

### **Napenergiás energiamérő eszközök kalibrálása**

A napsugárzás jellemzőit mérő berendezések, eszközök kalibráló mérését meghatározott időközönként szükségszerű elvégezni, hogy a későbbiekben az adott eszközzel végzett mérések által szolgáltatott adatok megfelelő pontossággal jelenítsék meg a napsugárzás jellemzőinek valós értékeit.

A napsugárzást mérő szenzorok hitelesítő mérését a gyártó által megadott újrakalibrálási időköz alapján szükséges elvégezni. Alapvetően kétféle kalibrációs eljárást különböztetünk meg. Az egyik, amikor laboratóriumi körülmények között, fényforrás segítségével a beállított (ismert) fény jellemzőit mérjük, és ez alapján végezzük az újrakalibráló számításokat. A másik, amikor az újrakalibráló mérések természetes körülmények között, a szabadban kerülnek elvégzésre a tényleges napsugárzási jellemzők mérésével. Jelen esetben ezen utóbbi módszer került alkalmazásra.

Az egyes érzékelőktől kapott adatokat egy kijelölt referenciamérővel mért adatokhoz hasonlítva, a szükséges számítási feladatok elvégzését követően kapjuk meg az egyes mérőeszközök kalibrációs faktorszámát. Ez a számított kalibrációs faktor biztosítja a mért értékekből számított eredmények pontosságát a következő hitelesítésig. Jelen tanulmány a Hannoveri Egyetem, Kertészeti és Gépészmérnöki Intézetében végzett kalibrációs mérések eredményeit és tapasztalatait mutatja be, illetve elemzi.

A munka során a napsugárzás jellemzőit mérő berendezések újrakalibrálásával foglalkoztunk. A mérések különböző típusú eszközök újra-kalibrációs vizsgálatára terjedtek ki. A méréseket az előkészítő műveletek követően lehetett elvégezni, majd ezek után következett az adatok kiolvasása az adatgyűjtő rendszerből, végül pedig a mért adatok feldolgozása és kiértékelése történt meg.

#### *Kalibrációs mérésre kerülő eszközök*

A kalibrációs mérés elvégzésének szükségességét két tényező indokolta, egyrészt az egyes műszerek hitelesítési idejének lejárta, másrészt, hogy az addig használt hitelesítési szabvány megváltozott. A hitelesítő méréseket követően az új, egységesített hitelesítési szabvány alapján számított kalibrációs faktorok kerülnek a későbbiekben alkalmazásra.

Szabadban történő méréseknél a műszereket északi irányba kell tájolni és biztosítani kell a mérés közbeni a vízszintes beállítást, amely a műszer házában elhelyezett vízszintmérő segítségével lehetséges. A vizsgálatok során különböző típusú eszközök kalibrációs mérésére került sor, nevezetesen: direkt és diffúz sugárzási komponensek mérésére szolgáló szolariméterek, fotoszintetikusan aktív sugárzási (Photosynthetically Active Radiation – PAR) komponensek mérésére szolgáló eszközök (amelyek bizonyos alkalmazásoknál fontosak lehetnek), valamint a visszavert sugárzási komponenst is mérő (kétoldalas) globál-sugárzásmérők.

Kalibráló mérésre került két fajta Kipp&Zonen szolariméter (CM11. típus a 17. ábrán), amelyek csak kialakításukban eltérők.



17. ábra Kipp&Zonen CM11 típusú szolariméter

A PAR szenzorok kalibrálása is megtörtént. Ezen érzékelő kalibrálásakor a referenciát egy Li-Cor Li-190A típusú quantum érzékelő biztosította.

Schenk típusú globál-sugárzásmérőből két fajta eszköz került vizsgálatra. Az egyik fajta globálsugárzásmérő a Schenk 8110 típusú (Abb. 290/503/195), amely egy termoelemmel méri az alulról, illetve a felülről jövő sugárzás által termelt hőmennyiség közötti különbséget. A másik mérésre került globálsugárzásmérő (18. ábra) a Schenk 8111 típusú (Abb. 552/553) volt. Ez utóbbi két termoelemmel méri az alulról, illetve a felülről jövő sugárzás által termelt hőmennyiség közötti különbséget úgy, hogy mindkettőt a környezeti hőmérséklethez hasonlítja.



18. ábra Schenk 8111 típusú globálsugárzásmérő

#### *A kalibrációs mérés menete*

A mérések megkezdése előtt bizonyos előmunkálatokat kell elvégezni, mint például a kalibrálandó eszközök érzékelő felületének megtisztítása és a deszkáló anyag (silica gel) cseréje. A deszkáló anyagot előzetesen 130 °C-on kb. egy napig szárítani kell. Ezt követően kezdődhet meg a mérőműszerek kihelyezése a mérés helyszínére, majd a mérési beállítások elvégzése. A korábban már elmondottak szerint a mérőeszközök telepítésekor a vízszintes beállítást és az északi irányú tájolást kell biztosítani. A következő lépés a műszerek bekötése a mérőpanelekbe, amelyek egymással és az adatgyűjtő egységgel is kapcsolatban vannak (Wurm és Roemer, 1988).

A mérőszorozat elindítása előtt befejező műveletként az adatgyűjtő egység egyes csatornáinak mérési intervallumát (mivel különböző jeleket mérünk az egyes érzékelőkkel), illetve az idő és dátum beállítását kell elvégezni, hogy valós idő szerinti adatsorozatot kapjunk.

A felépített mérőhelyen (lásd 19. ábra) vizsgálatra került 35 darab szolariméter, 15 darab PAR-érezékelő 1 darab fotometrikus érzékelő, 1 darab energiaérezékelő, 2 darab UV-sugárzásmérő eszköz, 4 darab Schenk 8111-es, illetve 16 darab Schenk 8110-es típusú globálsugárzásmérő.



19. ábra A szolariméterek mérőhely kialakítása

#### A kalibrációs számítások módszerei és az adatok elemzése

A szolariméterek kalibrációs faktorszámának meghatározása a mérések során kapott adatokból egy referenciamérő segítségével történt. Első lépésként az adatgyűjtő által szolgáltatott mért adatok kezelhető formába történő konvertálása történt meg a chipmeghajtó vezérlő programja segítségével. A program a chipkártyáról leolvasott értékekből a táblázatkezelő program számára közvetlenül kezelhető adatokat adott.

A kalibrációs számítás lényege, hogy a referenciamérő által mért napsugárzásból valamint a mért értékekből vissza lehet számolni az egyes érzékelők kalibrációs faktorszámát:

$$\text{Kalibrációs faktor} = \frac{\text{Számított\_sugárzás\_ref}}{\text{Mért\_érték}} \left[ \frac{\text{Wm}^{-2}}{\text{mV}} \right].$$

A számítások alapján kapott kalibrációs faktorokat táblázatos formában összegyűjtve a tényleges mérések eredményét könnyen és pontosan átszámíthatjuk, korrigálhatjuk.

A kalibrációs faktorszám számításakor a globálsugárzás mérő eszközök (CM5, CM6, CM11 és QL2000E) esetében egy adott CM11 szolarimétert vettük referenciaként, amelynek átviteli tényezője:  $2002.84 \text{ Wm}^{-2}/\text{mV}$

A PAR érzékelők esetében a kalibrációs faktorszám számítása megegyezik a szolariméterek számítási elvével. Ebben az esetben a referenciaértéket egy Li-Cor LI-190A típusú PAR érzékelő szolgáltatta.

A szolariméterek esetében a kalibrációs faktorszám kiszámítása után meg kell vizsgálni a mért értékekből és a kapott kalibrációs faktorszámból visszszámított eredmény – azaz az érzékelő által mért valós globális sugárzás tényleges értékének – eltérését a referenciamérő által szolgáltatott értékektől, és ki kell számítani ezek normáletérését, amely a számított kalibrációs faktorszám minőségét adja, illetve az érzékelőt jellemzi.

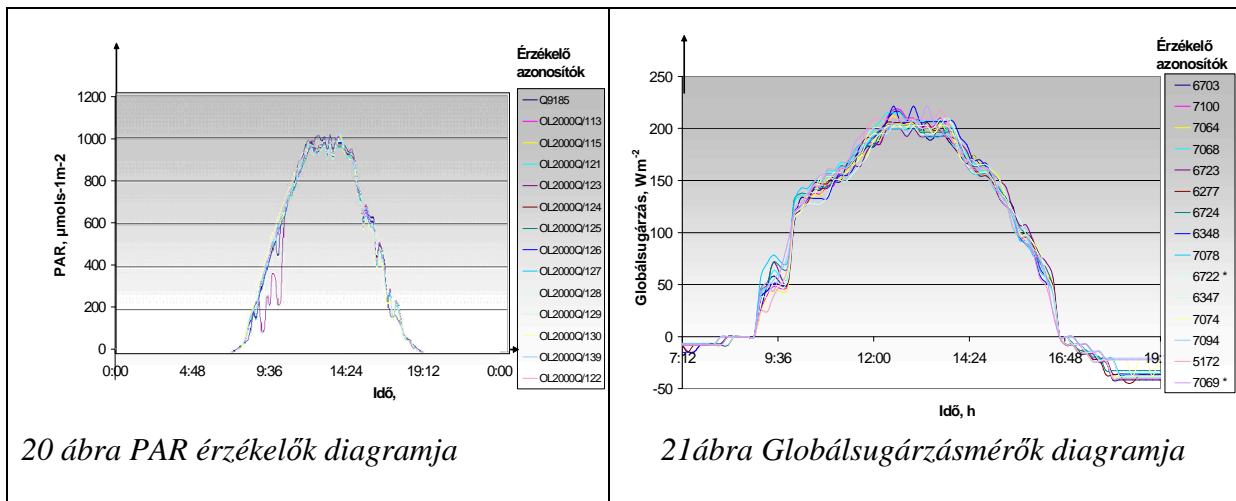
A mérési eredmények értékelését megelőzően az érzékelőket a mérési hely szerint csoportokra kell bontani, hogy az esetleges eltérések a csoportot vagy csak az egyes eszközöket érintik. Amennyiben csoportosan előforduló adateltérésekről van szó, abban az esetben a hibát nyilvánvalóan valamilyen külső körülmény okozza. Amennyiben a kapott eltérés nagyobb a megengedett határértéknél, abban az esetben az érzékelővel mérési problémák vannak, amelyeket ki kell vizsgálni és a szenzor hibáját ki kell javítani.

A hibakeresési eljárás a PAR érzékelők, illetve a kétoldalas globálsugárzásmérők esetében is hasonlóan történt. A mérési adatok diagramba való kirajzoltatása után megfigyelhető az egyes érzékelők által szolgáltatott értékek minősége, illetve a referenciamérő műszerhez viszonyított eltérése (20. ábra). A kalibrációs faktorszám kiszámítása után itt is meg kellett vizsgálni a mért értékekből és a kapott kalibrációs faktorszámból visszszámított eredményeket, amely az érzékelő által mért valós sugárzási jellemzők tényleges értékének

eltérését adja a referenciamérőhöz képest. Ezt követően ki kellett számítani a normáletérésüket, amely a számított kalibrációs factorszám minőségét szemlélteti és az egyes PAR érzékelőket jellemzi.

A PAR érzékelők mérési diagramjából jól látszik az egyik eszköz mérési adatainak nagyfokú eltérése. Ez az eltérés az érzékelő hibájára utal, mivel az csak bizonyos mérési tartományban tapasztalható, nevezetesen a mérés délelőtti szakaszában.

A globálsugárzásmérők esetében a mérés teljes szakaszában tapasztalhatók eltérések (21. ábra), amely az újrakalibráció szükségességét jelzi (Kocsis és tsai, 2005).



20 ábra PAR érzékelők diagramja

21 ábra Globálsugárzásmérők diagramja

### A kalibrálási eredmények értékelése, következtetések

A dolgozatban bemutatásra kerültek a különböző sugárzásmérő eszközök kalibrációs számítási módszerei, a kalibrációs factorszám meghatározása és annak segítségével kapott eredmények értékelése. A szolariméterek, a PAR érzékelők és a globálsugárzásmérők kalibrációs diagramjai jól mutatják az egyes eszközök által szolgáltatott adatokból és a meghatározott kalibrációs factorszámból visszszámított mérési értékek minőségét, a referenciamérőtől való eltérését. A diagramokon tapasztalható tipikus eltérések szemléltetik a kalibrációs vizsgálatok jelentőségét, illetve a gyártó által előírt újrakalibrációs időintervallumok betartásának fontosságát.

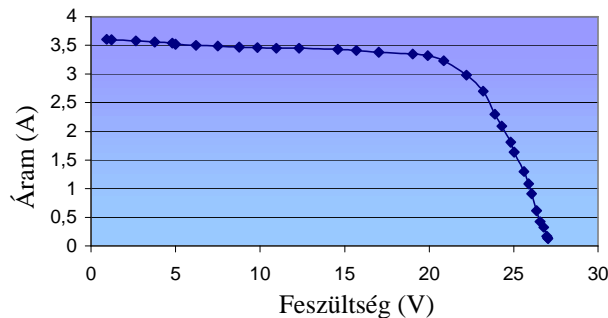
Azon eszközök esetében, amelyeknél nagyobb mértékű illetve csak bizonyos mérési tartományokban jelentkező eltérések tapasztalhatók, az eltérések kiváltó okának vizsgálatára van szükség. A többi eszköz esetében, ahol csak kismértékű, de ugyanakkor folyamatos eltérés figyelhető meg, a számított kalibrációs faktor alkalmazásával ezt az eltérést a következő hitelesítésig kiküszöbölhetjük.

A napsugárzás jellemzőinek kívánt pontossággal történő mérését, illetve a növényházban kialakított klímaszabályozási folyamatok sikerét csak az előírásoknak megfelelő időközönként kalibrált, hiteles érzékelőkkel lehetséges megvalósítani.



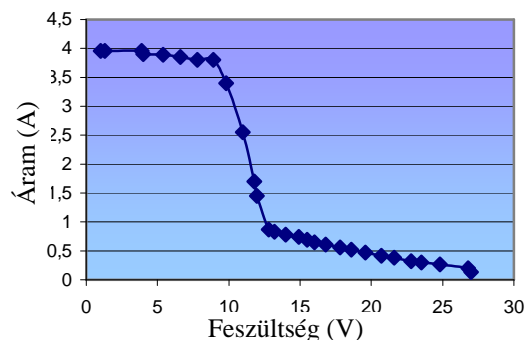
## Mérések a SZIE 10 kWP fotovillamos rendszer elemeivel

A fotovillamos modul, mint összetett villamos rendszer egyik fontos jellemzője az áram-feszültség (I-V) karakterisztika, amelyből a modulnak a különböző terhelések melletti feszültsége és áramleadása, vagyis a teljesítménye határozható meg. A görbe deriváltjából kiolvasható a maximális teljesítményű ponthoz (MPP) tartozó áram és feszültségérték. A 22. ábrán az ASE-100 modul mért I-V karakterisztikája látható.

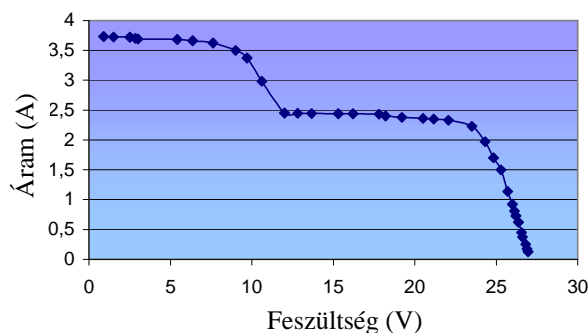


22. ábra. I-V karakterisztika árnékmentes modul esetén

Közismert, hogy a fotovillamos modulnál a felület aránylag kis részének árnyékolása is jelentős teljesítménycsökkenést okoz, mert ilyenkor az árnyékolt részek fogyasztókká válnak. Az ábrán látható 8% árnyékolt felületet jelentő rúd például közelítőleg 1/3-os teljesítmény csökkenést okozott. A következő két ábrán olyan modulkarakterisztikák látható, ahol 1 cellát árnyékoltunk (23. ábra), illetve a modult egy 5 cm széles rúd árnyékolta (24. ábra).



23. ábra. I-V karakterisztika egy olyan modulra, ahol az egyik cella árnyékolt



24. ábra. I-V karakterisztika egy olyan modulra, amelyre egy rúd vet árnyékot

A fotovillamos modulok mellett az inverterek ellenőrzése is megtörtént. Az inverter 196 – 600 V egyenfeszültséget konvertál át 230 V, 50 Hz-es váltófeszültséggé, amit a villamos hálózatba táplál. A betáplálás a hálózati fázishoz szinkronizálva történik.

## A SZIE 10 kWp fotovillamos rendszer optimális elhelyezése, rendszerkialakítása

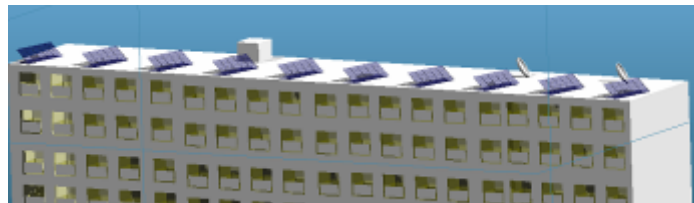
### A helyszín kiválasztása

A tervezett rendszer felépítésére a legjobb hely lehetőségeinek vizsgálatát a SZIE gödöllői kampusz területére végeztük. Három ígéretes lehetséges hely került számításba ezek előnyeinek és hátrányainak összevetésével. Mindegyikén lehetséges a PV modulok déli tájolása és – mint a legfontosabb aspektus – mindegyik árnyékmentes egész évben.

A lehetséges hely kiválasztásának prioritásai:

- árnyékmentes,
- déli tájolású síktető,
- egyszerű csatlakoztathatóság a villamos hálózathoz,
- az előállított energia direkt felhasználása,
- védett biztonságos hely az adatgyűjtő rendszer és inverterek számára,
- a PV rendszer egyszerű demonstratív célú bemutatathatósága.

Az első lehetőség a *Kollégium B épület (lapos tető)*. A tető mérete 15,7 m x 89,5 m, a hosszabb oldal nagyjából ÉD tájolású (kb. 15 fok eltérés K felé). A tetőn parabola antennák és kibújó épület adnak árnyékolást, de a fennmaradó terület is elegendő a rendszer telepítéséhez. Az adatgyűjtő és az inverterek elhelyezhetősége (a kibújó épületben) elképzelhető, a villamos betáplálás várhatóan megoldható. A rendszer tervezett elhelyezhetőségét a 25. ábra szemlélteti.



25. ábra Kollégium B épület (lapos tetős szerkezeten)

Előnyök:

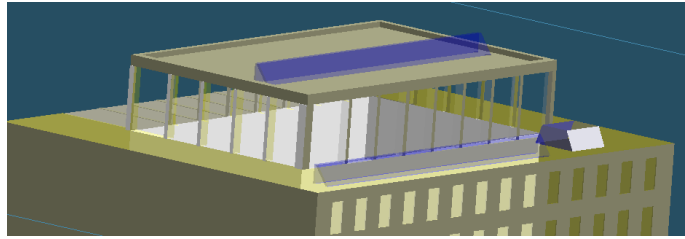
- könnyű hozzáférhetőség,
- könnyű hibaelhárítási lehetőség,
- körüljárhatóság,
- tetőbe integrálásnál várhatóan olcsóbb installáció,
- egyszerű üzemeltetés,
- biztosított árnyékmentesség,
- egyszerű a hálózathoz történő csatlakozás.

Hátrányok:

- távolabb van a tanszéktől,
- bemutatás nehézkes,
- a tervezett kollégium bővítése.

A második lehetőség a *SZIE Gépészmérnöki Kar aula épülete (lapos tető)*: A főépület tetőszerkezete két elkülönült részből áll, az alsó tetőszakasz déli oldala 50 m hosszú, 8,5 m széles, a két tetőrészen együtt férne el egy sorban a rendszer. Tisztázandó, hogy a felső kisebb rész, amely egy rácsos tartó milyen mértékben terhelhető. Adott esetben az alsó részen két soros elrendezés is elképzelhető.

Az adatgyűjtő és az inverterek elhelyezhetősége közvetlenül a tetőszerkezet alatt megoldható (liftakna, rácsos tartó feletti térrész) illetve a villamos betáplálás is. A rendszer tervezett elhelyezhetőségét a 26. ábra szemlélteti.



26. ábra A rendszer tervezett elhelyezhetősége a SZIE Gépészmérnöki Kar lapos tetős épületén

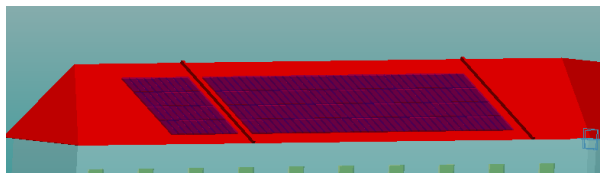
Előnyök:

- könnyű hozzáférhetőség,
- könnyű hibaelhárítás lehetőség,
- körüljárhatóság,
- tetőbe integrálásnál várhatóan olcsóbb installáció,
- egyszerű üzemeltetés,
- biztosított árnyékmentesség.

Hátrányok:

- távolabb van a tanszéktől,
- bemutatás nehézkes.

Az utolsó lehetőség *SZIE Fizika és Folyamatirányítás Tanszék feletti tetőszakasz (sátortető)*, lásd 27. ábra. A tanszék feletti tetőszakasz többféle elrendezésben is lehetővé teszi a rendszer installációját, (három variáns készült a teljes tetőmagasság kitöltésével, a teljes tetőhossz kitöltésével és egy közbülső elrendezéssel). Információink szerint a jelenlegi tetőszerkezet felújítása, ami szükséges lenne a rendszer felépítése előtt, a közeljövőben forráshiány miatt nem tervezett. Nehézséget okoz a rendszer tartóelemeinek és a bevezetéseknek a beázás mentes megoldása a padlásra, illetve a rendszer működés közbeni hozzáférhetősége.



27. ábra SZIE Fizika és Folyamatirányítás Tanszék feletti tetőszakasz (sátortetős szerkezet)

Előnyök:

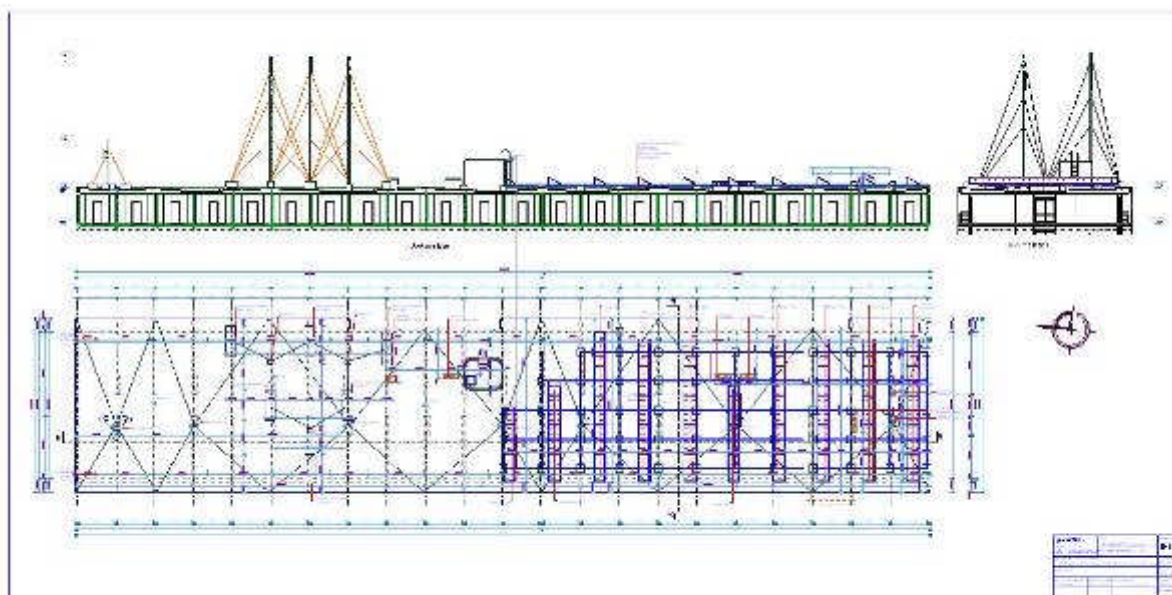
- tanszékhez közel van,
- adatgyűjtés és inverterek elhelyezése a padlástérben vagy a tanszékről megoldható,
- árnyékmentes,
- egyszerű a hálózathoz történő csatlakozás.

Hátrányok:

- tetőfelújítás szükségessége,
- nehéz a hozzáférhetőség,
- bonyolult a hibaelhárítás lehetősége és a körüljárhatóság,
- feltehetően ez a legdrágább installáció

Az összes helyszínen az adatgyűjtő rendszer csatlakoztatható a hálózathoz (LAN), így állandó monitorozás biztosítható a rendszer számára. A mért adatok egyszerűen lekérdezhetők a mérési folyamat közben is, illetve az adatok elemzése és tárolása is hatékonyan megoldható.

A lehetséges helyszínek mérlegelése után az egyetemi Kollégium C épület (lapos tető - 28. ábra) került kiválasztásra (eredetileg a B épület teteje lett kiválasztva, de az a PPP program keretében felújításra kerül, ezért helyeztük át a rendszert a C épület tetejére).



28. ábra: A PV rendszer telepítési helyszíne (kollégium C épület)

#### A rendszer főbb összetevői és jellemzői

A rendszer hardverkonfigurációja

Szélességi fok: 47°60' N

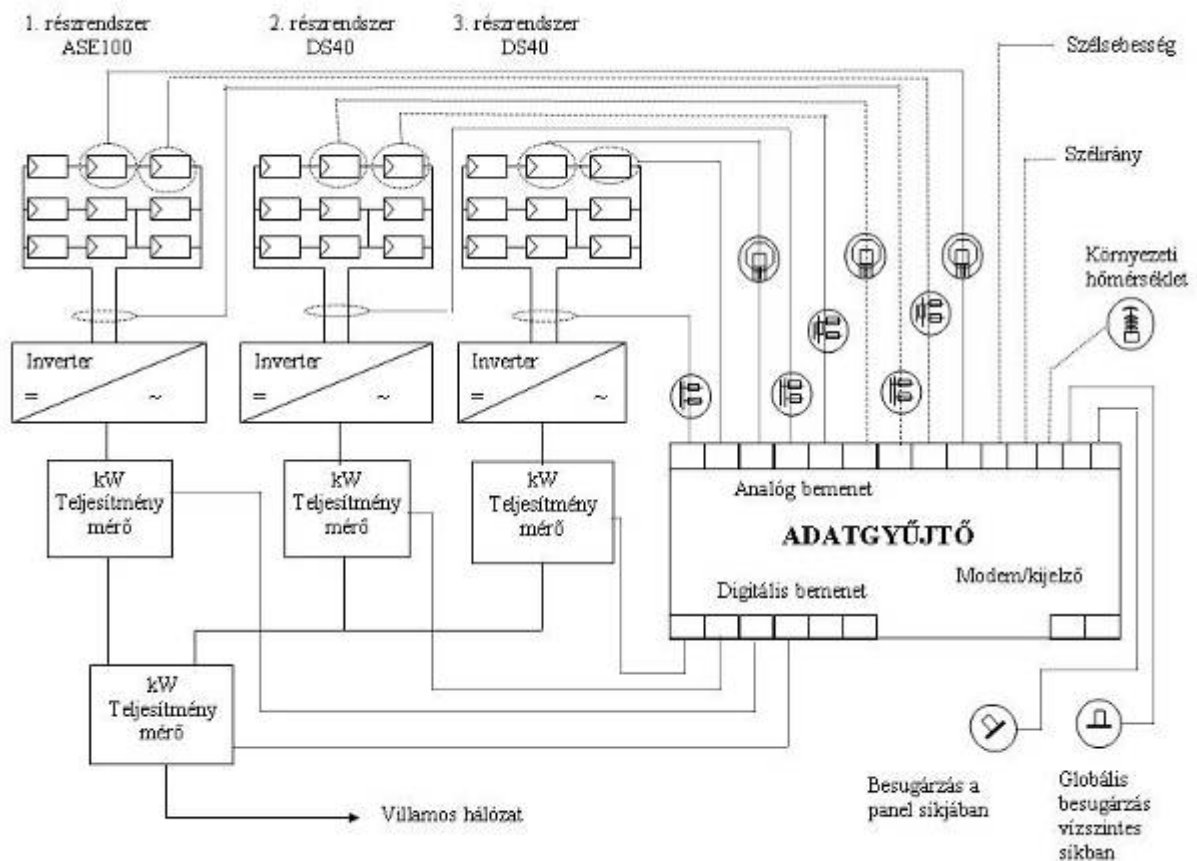
Hosszúsági fok: 19°35' E

Legközelebbi nagyváros: Gödöllő (28 km-re Budapesttől)

Ország:	Magyar	Alrendszer 1	Alrendszer 2
Névleges teljesítmény; [kWp]		3,3	2 x 3,1
Összteljesítmény; [kWp]		9,5	
PV modul szállító		RWE Solar GmbH.	DunaSolar Kft.
Modul típus		ASE-100	DS40
PV cella technológia		EFG	a-Si
PV cella szín		Sötétkék	Sötétkék
$P_{stc}$ , PV modul teljesítmény STC, [W]		105	40
Teljes modul szám		32	154
Sorokénti modulok száma (stringenként)		16	7
Párhuzamos stringek száma (inverterenként)		2	11
Inverter típusa (Sunpower):		SP3100/600	SP2800/550
faktor : $P_{dc-STC} / P_{ac} = 1,36$		1,12	1,11
Inverterek alrendszerenkénti száma		1	1
Teljes modulfelület; [m <sup>2</sup> ]		28	65
Azimuth orientáció (Dél = 0°; Nyugat= -90°)		14°	14°
A rendszer vízszinteshez viszonyított dőlésszöge		30°	30°

### Rendszertervek

A rendszer építésének fontos feltétele volt a modellezés alapján kiválasztott rendszerösszetevők telepítési és elektromos terveinek elkészítése. A modulok elrendezése, az egyes részmodulok invertereinek elrendezése és az adatgyűjtő rendszer főbb elemei az alábbi ábrán láthatók.



29. ábra A rendszer terve és az adatgyűjtés

A rendszer főbb elemeinek (PV modulok, inverterek, stb.) installálása 2005 évben megtörtént. A mérési adatgyűjtő részegységeinek telepítésére 2006-ban kerül majd sor.