

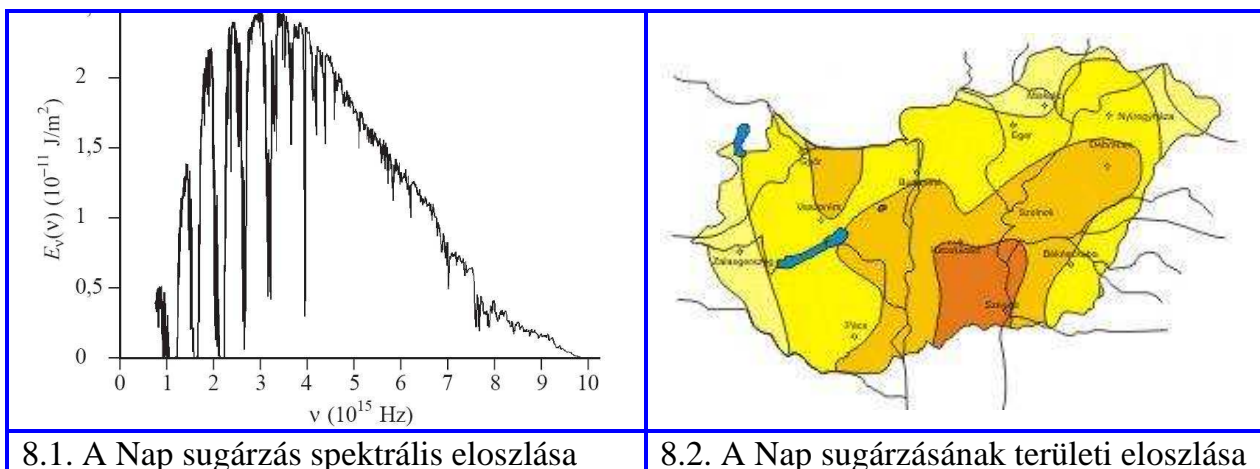
## 8. Mérések napelemmel

### A MÉRÉS CÉLJA:

Megismerkedünk a fény-villamos átalakítók típusaival, a napelemekkel kapcsolatos alapfogalmakkal, az alternatív villamos rendszerek tervezési alapelveivel, a napelem jellemző karakterisztikáinak és a hatásfokának meghatározásával.

### ELMÉLETI ISMERETEK

A **napelemek** olyan szilárdtest eszközök, amelyek a **fény energiáját közvetlenül villamos energiává alakítják át**. A nap termikus sugárzó, a benne lezajló fúziós folyamatok révén felületi hőmérséklete kb. 5800 Kelvin, elektromágneses spektruma megfelel egy ilyen hőmérsékletű fekete test sugárzásának: hullámhossz tartománya ultraibolyától az infravörösig terjed, sugárzásának maximuma a látható tartományba esik. A **Nap sugárzás intenzitása** a Föld légkörének felső részén (világűrben Föld távolságban)  $1353 \text{ W/m}^2$ , azonban a Föld felszínére érkező sugárzási teljesítmény a légkörben történő elnyelődés (**ózonréteg, szén-dioxid, vízgőz, metán abszorpciója bizonyos hullámhosszokon**) következtében ennél kisebb, mintegy  $925 \text{ W/m}^2$  merőleges beesés esetén az egyenlítő környékén. A gyakorlatban, Magyarországon tavasztól ősziig **45-60°-os beesésnél  $650 \text{ W/m}^2$  intenzitással számolhatunk**.



A **fény elektromos energiává történő átalakítás** alapja, a fényelemben a fény elnyelődésekor keletkező mozgásképes töltött részecskék rendezett mozgása. Gyakorlatilag minden olyan struktúra (főleg félvezető) alkalmas erre, amelynél a **töltött energiasáv szélessége kisebb**, mint a **beeső fotonok energiája**, illetve valamilyen belső elektromos mező (elektrokémiai, vagy a kilépési munkák különbözőségéből adódó potenciál) biztosítja, hogy a keltett elektron-ion párok ne rekombináldjanak. Ezen feltételek jól teljesülnek a **p-n-átmenet (dióda-struktúra)** esetén.

A fényelemekben a **p-n átmenetek félvezető anyagokból** épülnek fel. Egyik tartományuk öt vegyértékű atomokkal szennyezett (n-típusú félvezető, többségi töltéshordozók az elektronok), a másik három vegyértékű atomokkal szennyezett (p-típusú félvezető, többségi töltéshordozók a lyukak). A két réteg közötti szűk tartományon, az ún. határrétegben rekombináció révén nincsenek szabad töltéshordozók,

potenciálgát jön létre. A p-n-átmenet potenciálgátja a rákapcsolt feszültség polaritásától függően kiszélesedik (záróirány, a dióda nagy elektromos ellenállást képvisel), vagy eltűnik (nyitóirány, a dióda vezetővé válik), így a pn-átmenet váltakozó áram egyenirányítására alkalmas.

Ha egy **félvezető határrétegében fotonok nyelődnek el**, akkor a generálódó elektron-lyuk párok nagy valószínűséggel rekombinálódnak nélkül, a p illetve az n rétegekhez diffundálnak. Így a **megvilágított félvezető áramforrásként viselkedik**, melynek fontos paramétere – a galvánelemekhez hasonlóan – a **rövidzárási áramerősség** ( $I_R$ ) és az **üresjárási feszültség** ( $U_o$ ). Ha a napelemet egy  $R$  ellenállású fogyasztóval terheljük, akkor a napelem sarkain az üresjárási értéknél kisebb  $U$  feszültséget mérhetünk, lévén a belső potenciálgát csökken. Az átmenet áramát a termikus töltésmozgásból eredő sötétáram és a megvilágítással arányos fényáram ( $I_{foto}$ ) különbségként írhatjuk fel:

$$I(U) = I_s \left[ \exp \frac{U}{U_T} - 1 \right] - I_{foto} \quad (8.1)$$

ahol  $I_s$  ún. telítési áram,  $U_T$  a termikus feszültség.  $U = 0$ , ill.  $I = 0$  helyettesítésével a fenti egyenletből megkapjuk a rövidzárási áramerősséget és az üresjárási feszültséget:

$$I_R = -I_{foto} \quad (8.2)$$

$$U_o = U_T \ln \left( \frac{I_{foto}}{I_s} + 1 \right) \quad (8.3)$$

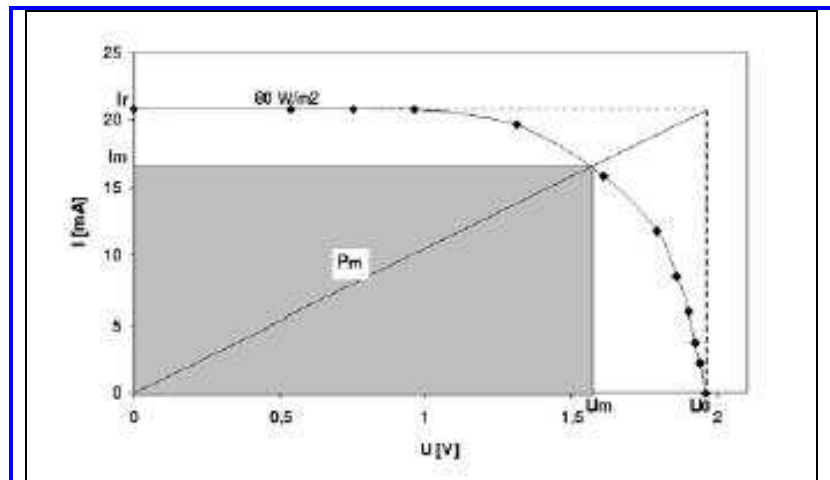
azaz a rövidzárási áram a beeső fényintenzitással egyenesen arányos, míg az üresjárási feszültség a fényintenzitás logaritmusával arányos (telítődést mutat).

Ahhoz, hogy a napelemből a **maximális teljesítményt** ( $P_m$ ) vegyük ki, fontos az optimális terhelés megválasztása (lásd 1. mérés: Áramforrások vizsgálata). Az optimális terhelő ellenállás (erős megvilágítás esetén) jó közelítéssel az üresjárási feszültség, és a rövidzárási áram hányadosából számítható:

$$R_m = \frac{U_o}{I_R} \quad (8.4)$$

**A napelemek áramerősség-feszültség karakterisztikája nemlineáris**, azonban annak alapján grafikusán meghatározhatjuk az adott megvilágítás mellett, a leadott maximális teljesítményt, és így a napelem hatásfokát (8.1. ábra). Ehhez az áramerősség-feszültség grafikonon, az  $(I_R, U_o)$  ponthoz, az origóból húzott egyenesnek a grafikonnal való metszéspontja adja meg az optimális áram- és feszültség értékeket ( $I_m, U_m$ ). A maximálisan kivehető teljesítmény  $P_m = U_m * I_m$  értékét az ábrán a satírozott rész szemlélteti. E területnek és az üresjárási feszültség és rövidzárási áram szorzata által meghatározott területnek a hányadosa a napelem ún. **kitöltési tényezője** ( $\varphi$ ):

$$\Phi = \frac{I_m U_m}{I_R U_o} \quad (8.5)$$

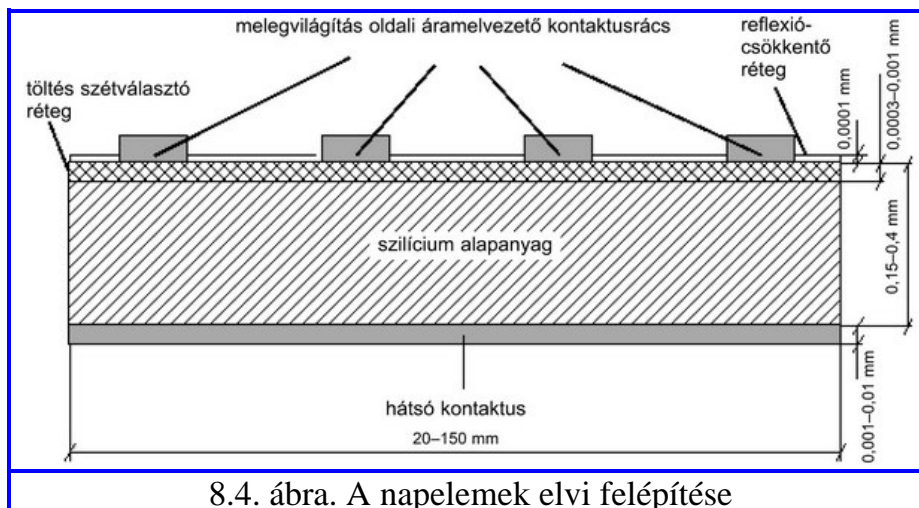


8.3. ábra. Napelem áram-feszültség karakterisztikája

A  $\varphi$  értéke a gyakorlatban 0,75-0,85 közé esik. A **napelem hatásfokát** a maximálisan kivehető elektromos teljesítmény és a beeső  $P_{foto}$  fényteliesség adja:

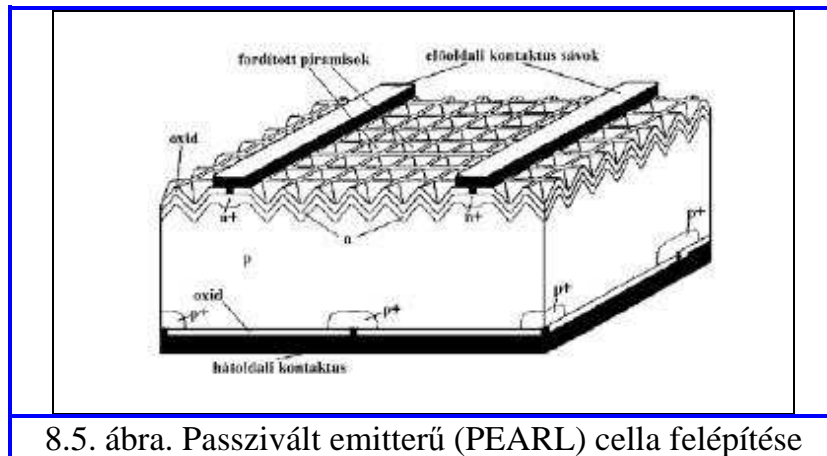
$$\eta = \frac{I_m U_m}{P_{foto}} = \frac{\Phi I_R U_o}{P_{foto}} \quad (8.6)$$

A **napelemek hatásfoka** szerkezeti kialakítástól függően **15-25 %** (szilícium alapanyagúak), de készülnek már 40 %-os hatásfokú típusok is. A hatásfok növelésére különböző technikák terjedtek el, így például **egykristályos napelemcellák** felületének érdesítésével (kémiai maratással) csökkentik a fényvisszaverődést.



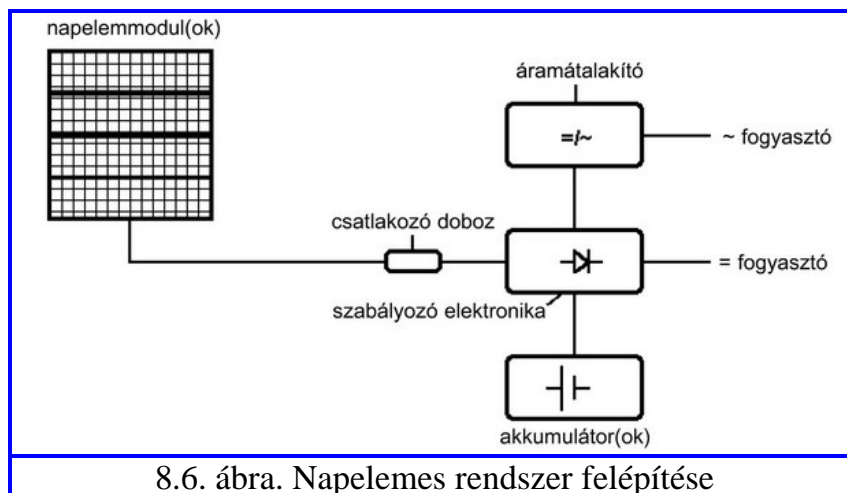
8.4. ábra. A napelemek elvi felépítése

Egy tipikusan nagy hatásfokú ún. **passzívált emitterű cellát** mutat a 8.5. ábra. Ennél a konstrukciónál a hatásfokot a felületi maratással kialakított fordított piramisszerű felületi struktúrával, hátoldali tükröző felülettel, az elvezető elektródáknak a felületre merőleges kiképzésével, és antireflexiós bevonattal növelik, így **24% hatásfok érhető el**.



8.5. ábra. Passzívált emitterű (PEARL) cella felépítése

Előállítás során A tisztított szilícium alapanyagot egykristállyá húzzák vagy polikristályos szerkezetnél grafit, illetőleg kerámiaformába öntik, majd ezt követően szeletelik. Diffúziós félvezető technológiai eljárásokkal alakítják ki a töltésszétválasztó réteget, és vákuum-, illetőleg szitanyomásos eljárással hozzák létre az áramelvezető kontaktusokat. Javítja a hatásfokot az optikailag illesztett reflexiócsökkentő bevonat és a többszöri reflexió. Többretegű napelemekkel 50% fölötti hatásfokot is megvalósíthatónak tartanak. A napelemes rendszernek a főbb részei: napelem, szabályozó elektronika, akkumulátorok, DC/AC átalakító, „hálózati” váltóáramú fogyasztó (8.6. ábra). Egy „1 kW-os” napelemes rendszert mutat a 8.7. ábra.

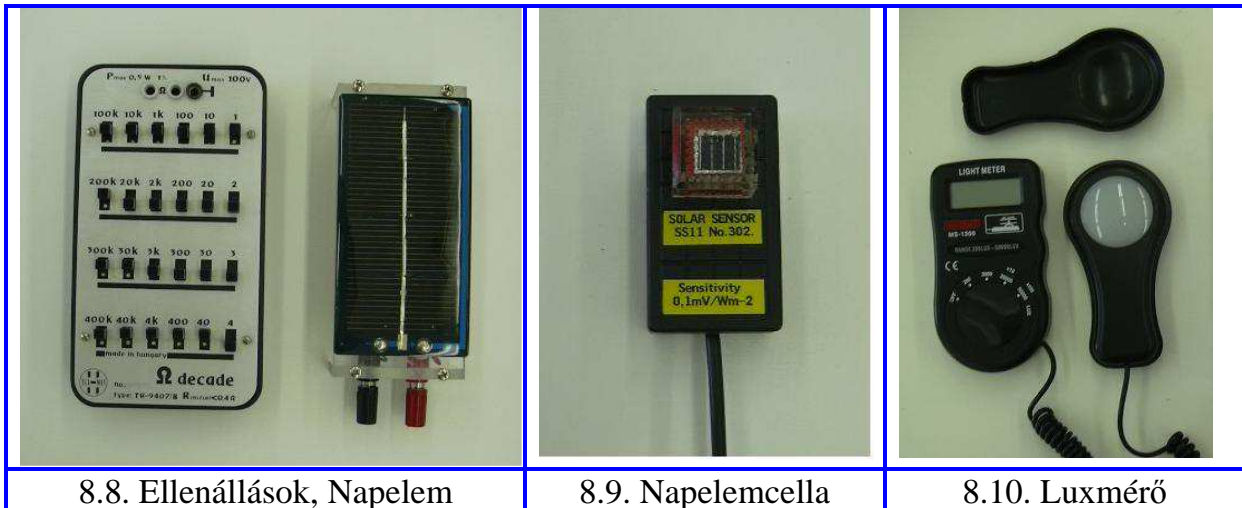


8.6. ábra. Napelemes rendszer felépítése

	<p>max. teljesítmény: 900 W                  max. kapacitás: 520 Ah                  cella felület: 2,56 m<sup>2</sup></p> <p><i>manuálisan forgatható                  minden irányban</i></p>
<p>8.7. ábra. 1kW-os napelemes rendszer</p>	<p>A rendszer adatai</p>

## ESZKÖZÖK, A MÉRÉS MENETE

- Napelem, (8.8. ábra)
- Digitális multiméterek,
- Fényforrás,
- Napelemcella a fényintenzitás méréséhez, (8.9. ábra)
- Potenciométer.



8.8. Ellenállások, Napelem

8.9. Napelemcella

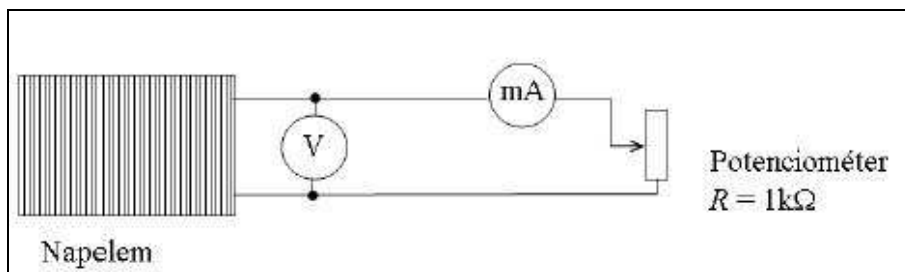
8.10. Luxmérő

### Napelem üresjárási feszültségének és rövidzárási áramerősségének mérése

A méréséhez használjunk hitelesített napelemcellát, amellyel a fényintenzitást közvetlenül  $W/m^2$  értékben határozhatjuk meg. A kapott értékeket foglaljuk táblázatba! Ábrázoljuk az üresjárási feszültséget ( $U_0$ ), és a rövidzárási áramerősséget ( $I_R$ ) a fényintenzitás függvényében!

### Napelem áram-feszültség karakterisztika felvétele

Ehhez állítsuk össze a 8.10. ábrán látható kapcsolást, és állítsunk be egy adott megvilágítást (értékét jegyezzük fel)! A terhelő ellenállás értékét csökkentjük a potenciométerrel, közben mérjük a kapocsfeszültséget és a körben folyó áram erősségét! Készítsünk értéktáblázatot! Mérjük meg a vizsgált napelem felületét (A)!



8.11. ábra. Mérési összeállítás

### Méréseredmények kiértékelése

Ábrázoljuk az áramerősséget a feszültség függvényében! Szerkesszük meg az **optimális munkapontot** ( $U_m$ ,  $I_m$  értékeket), szorzatukból megkapjuk a **napelemből maximálisan kivehető teljesítményt** ( $P_m$ ), és (8.5) összefüggés alapján határozzuk meg a kitöltési

tényezőt! A napelemre jutó fényteljesítményt ( $P_{foto}$ ) watt egységben a mért fényintenzitás és felület szorzata adja, ennek ismeretében határozzuk meg az egyes megvilágítások esetén a napelem hatásfokát ( $\eta = P_m/P_{foto}$ )!

### FELADATOK, EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

1. Mérje meg a terem ablakában a fényintenzitást  $W/m^2$  egységben, a hitelesített napelemcellához csatlakoztatott digitális multiméterrel!
2. Mérje meg digitális multiméterrel a kiadott napelem üresjárási feszültségét ( $U_o$ ), és rövidzárási áramerősségét ( $I_R$ ) 10 különböző fényintenzitás mellett!
3. Vegyük fel egy adott megvilágítás mellett a napelem áram-feszültség karakterisztikáját!
4. Értékelje ki a méréseredményeket!
5. Értékeljük a kapott eredményeket!

### TÁBLÁZATTERV


### KÉRDÉSEK

1. Milyen energia átalakító funkciót lát el a napelem?
2. Mennyi a Nap sugárzás intenzitása a Föld légkörének felső részén?
3. Milyen gázok nyelik el a Nap fényének sugárzását a különböző spektrális tartományokon?
4. Mekkora fényintenzitással számolhatunk Magyarországon tavasztól ősziig (45-60°-os beesésnél)?
5. Milyen arányban kell lenni egymáshoz képest a félvezető tiltott energiasáv szélességének a beeső fotonok energiájához viszonyítva ahhoz, hogy a fényelemben rendezett mozgást végezzenek a töltött részecskék?
6. Mit jelent az  $n$  és mit jelent a  $p$  a félvezetők esetében?
7. Mit jelent ez a fogalom: üresjárási feszültség?
8. Mit jelent ez a fogalom: rövidzárási áram?
9. Mennyi a napelemek hatásfoka a szerkezeti kialakítástól függően,
10. Hogyan méri meg a napelem üresjárási feszültségét?
11. Hogyan méri meg a napelem rövidzárási áramerősségét?
12. Rajzolja fel a napelem áram-feszültség karakterisztikájának felvételéhez szükséges kapcsolás rajzát!
13. Hogyan szerkeszti meg az áramerősséget feszültség karakterisztikából az optimális munkapontot?
14. Hogyan számolja ki a napelemből maximálisan kivehető teljesítményt?
15. Hogyan határozza meg határozzuk meg az egyes megvilágítások esetén a napelem hatásfokát?

Német Béla, Szász János  
Pécs, 2008. március 15.