EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar
Környezettudományi szak

Atomfizikai Tanszék

SZAKDOLGOZAT

A napelemek környezeti célú vizsgálata
(különös tekintettel az energiatermelő zsindelyekre)

Készítette:
Bathó Vivien

Témavezető:
Horváth Ákos
egyetemi docens

Budapest
2010

Tartalomjegyzék

Bevezetés 3

A napenergia fontossága 3

1. Energiatípusok, a napenergia áttekintése 4

1.1 Megújuló energiák részesedése a mai energiaellátásban 5

1.2 A napsugárzás fizikája 8

1.3 Napenergia felhasználási technológiák áttekintése 11

2. A napelemek 13

A szilícium napelemekről általában 14

2.1 A napelemek működése 14

2.2 A szilícium-napelemek előállítása 16

2.3 A napelemek beépítése 17

2.3.1 A napelem által termelt energia tárolása 18
2.3.2 A napelemek dőlésszöge 19

2.4. A napelemek hatásfoka 19

2.4.1 A hatásfok növelése, a hatásfok csökkenésének kiküszöbölésével 21

2.5. A napelemek fajtái 23

2.5.1 Monokristályos szilícium elemek 23
2.5.2 Polikristályos szilícium napelemek 25
2.5.3 Amorf szilícium napelemek 26
2.5.4 Vékonyréteg-napelemek 27
2.5.4/a Kadmium-tellurid alapú napelemek 28
2.5.4/b Gallium-arzenid elemek 29
2.5.4/c CIS típusú napelem 30
2.5.5 Vastagréteg kontaktusú napelem 34
2.5.6 Eltemetett kontaktusrétegű napelemek 35
2.5.7 Foto-elektrokémiai elemek 36
2.5.8 Multikapcsolatos fotoelektromos elemek 36

3. Energiatermelő zsindely 38

3.1 A Tegosolar 38

3.2 Gyártási technológia 40

3.3 A napelem hatásfokának mérése 43

3.3.1 A körülmények bemutatása 43
3.3.2 Megtérülés 50

4. Életciklus-elemzés 52

4.1 Az elemzés lépései 53

4.1.1 Rendszerhatárok 53
4.1.2 A leltár 54
4.1.3 Az elemzés eredményei – hatásértékelés 55

5. A napelemes rendszerek környezeti hatásai 57

5.1 Területfoglalás 58

5.2 Szennyezőanyag kibocsátás 58

5.3 Vizuális hatások 58

5.4 Természeti erőforrások kimerítése 59

5.5 Levegőszennyezés 59

5.6 Zajártalmak 60

5.7 Hulladékképződés 60

6. A napelemek újrahasznosítása 61

7. A napelemek gazdaságossága Magyarországon 62

7.1 A hazánkban elérhető potenciálok 62

7.2 A modellszámítás ismertetése 63

7.3 A napelemek gazdasági versenyképessége és következtetés 64

Összefoglalás 67

Dissertation summary 67

Köszönetnyilvánítás 68

Nyilatkozat 69

Ábrajegyzék 70

Irodalomjegyzék 73

Bevezetés

Az embernek a civilizáció fenntartásához energiára van szüksége. A modern ember egyre növekvő mennyiségű energiát igényel és az egyik elsődleges célja mindig a megnövekedett energiaigény kielégítése volt. A szakemberek véleménye szerint azonban elképzelhetetlen, hogy a Föld teljes népessége a jelenlegi fejlett országok energiafelhasználási szintjére fokozza egy főre jutó energiafelhasználását. *(Sembery & Tóth, 2004)*

Ennek oka a felhasznált fosszilis tüzelőanyagok káros hatása a környezetünkre, ami rávilágít arra a tényre, milyen fontos a megújuló energiák előtérbe helyezése. Ezért választottam dolgozatom témájának a megújuló energiaforrások egyik fő ágát, vagyis a napenergia-felhasználást, ami számos aspektusból kiaknázatlan lehetőségekkel rendelkezik.

Dolgozatomban a napenergia fontosságáról szeretnék írni, ezen belül a napelemek szerepéről, működésükről, gyártási folyamatukról. Ki szeretném emelni azon napelemeket, melyeknek alapanyaga nem az általánosan megszokott szilícium. Fontosnak tartom, hogy átnézzem a napelem gyártáshoz szükséges energiát és azt, hogy ez mennyire lehet környezetszennyező.

A napenergia fontossága

A jelenlegi olajválság már annak a jele, hogy a világ olajbányászata lehetőségei határához közeledik. Geológusok már évekkel ezelőtt megjósolták, hogy a világ olajtermelési képességének határát hamarosan eléri, amely 2005-ben el is érkezett: ekkor jutottunk el a termelés évenkénti változását leíró haranggörbe csúcsára. A csúcsérték elérése után a világ olajtermelése fokozatosan csökken. *(Végh László: Az olajválság és várható következményei c. dolgozat)* A szén, a földgáz és az olaj nem tart örökké. Ezen árucikkek árának folyamatos növekedése miatt a napenergia az egyik reményünk. Egy hét viszonylatában a Földre érkező napsugárzásból származó energia nagyobb, mint a ma ismert meglévő szénkészleteké[1]. Rendkívül fontos, hogy ezt felhasználjuk a világ növekvő energiaigényének kielégítésére.

[1] Az egyre pontosabb felmérések folytán a világ teljes szénkészletének (resource) becsült mennyisége 1980 és 2005 között 6920 Gt kőolaj ekvivalensről 3750 Gt-ra csökkent (54%). A **kitermelhető készletek**re (reserve) országonként megadott adatok hol - általában - erősen csökkennek, hol - a folyamatos termelés ellenére - akár 10 évig sem változnak. Ezt figyelembe véve ezek összege, azaz a globális mennyiségre kiszámítható adat is nagyon megbízhatatlan. A 2005-ös adat **mindössze 460 Gt kőolaj ekvivalens.** 2007-ig kb. 160 Gt kőolaj ekvivalensnek megfelelő szenet használtunk fel.
1 t kőolaj ekvivalens=1,5 t antracit vagy fekete kőszén, vagy 3 t barnakőszén vagy lignit

1. Energiatípusok, a napenergia áttekintése

A kétfajta energia

Az energiát, amely a jóléti társadalmak alapszükséglete, jelenleg kétféle forrásból állítjuk elő: *nem megújuló* (a folyamatos kitermelés miatt mennyisége csökken) és *megújuló energiaforrások*ból (használata a fenntarthatóság elvével összhangban van, és a közeljövőben nem fenyegeti a kimerülés).

A ***nem megújuló erőforrások***ból nyert energia számít jelenleg a Földön a leginkább elterjedtnek. A kimerülő energiaforrások is újratermelődnek, hiszen a szenesedés, illetve kőolajképződés folyamata is folytonos. Ezek a források azonban kiapadnak, ha a kiaknázás gyorsabban történik, mint az újratermelődés. Ma főként a fosszilis energiaforrások: a kőolaj, a földgáz és a kőszén a legfontosabbak. Ma ez a három energiahordozó fedezi a világfogyasztás háromnegyedét; sorrendben 39%-os (motorhajtóanyagok, tüzelőanyagok, kenőanyagok, petrolkémiai termékek), 22%-os (üzemanyag, tüzelőanyag) és 29%-os (erőműi égetés, tüzelőanyag) részesedéssel *(1. táblázat)*. Ezzel egyrészt a Föld kimerüléssel fenyegető készleteit használjuk, másrészt pedig az elégetéssel keletkező melléktermékek (pl. CO, CO_2, SO_x) súlyosan szennyezik a légkört, amellyel hozzájárulnak a klímaváltozáshoz. (*Sembery & Tóth, 2004)*

Primer energiahordozó	Felhasználás (%)
Kőolaj	39
Szén	29
Földgáz	22
Atomenergia	7
Megújuló (víz)	3
Összesen	100

1. táblázat: A világ energiafelhasználásának százalékos megoszlása a primer energiahordozók szerint (Sembery & Tóth, 2004)

Idesorolják még a sokak által veszélyesnek tartott atomenergia 7%-os részesedését - a Nemzeti Atomenergia Ügynökség (NAÜ) 2005-ös adatai alapján. A világon üzemelő atomerőművek száma 442, a beépített kapacitás 368 611 GW; a létesítés alatt álló atomerőművek száma 24.

Végül a táblázatban szerepel a vízenergia, mely megújuló energiaforrás; a világ energiafelhasználásának 3%-át adja, ami létezhet duzzasztó, vízi-, folyami-, árapály-, hullámerőmű, stb. formájában. A napenergia felhasználása a világon elhanyagolható a többihez képest, mindössze 0,5%. (*www.veab.mta.hu/upload/file/Marko_2008.pdf)*

A ***megújuló erőforrások*** (például: szél, víz, biomassza, óceán energiáját hasznosító erőmű, geotermikus energia, Nap) olyan energiaforrást jelentenek, amelyek lényegesen kevesebb környezetszennyezéssel képesek energiát előállítani - méghozzá úgy, hogy a

közeljövőben nem fenyegeti őket a kimerülés veszélye; persze mindezt fenntartható[2] keretek között kell végezni. A megújuló energiaforrások további előnye az is, hogy nem kell költséges hálózatokat kiépíteni helyi szinten, és hozzájárulhatnak ezzel az egyedi igények helyi megoldásához, a decentralizált energiatermeléshez.

1.1 Megújuló energiák részesedése a mai energiaellátásban

A megújuló energiaforrások ma még nem játszanak jelentős szerepet a világ energiaellátásában, amelyben a legnagyobb részesedéssel a vízenergia képviselteti magát 3%-kal. Ez az érték egyes országokban magasabb (Norvégia, Svájc, Ausztria), ami által vezető szerepet töltenek be az adott ország villamos energia előállításában.

A ***vízenergia*** mint energiaforrás nagyon fontos, hiszen a világon a vízerőművekkel megtermelt mintegy 2000 TWh/év (7200 PJ/év) villamos energia a műszakilag hasznosítható készletnek 10-20%-át teszi ki. A vízenergia más megújuló energiafajtákkal ellentétben ökológiai szempontból nem környezetbarát (lásd: Hoover-gát, Szigetköz), de felhasználása fontos a levegőszennyezés, az üvegházhatás csökkentésében.

Az elmúlt évtizedben, különösen Európa vonatkozásában jelentős fejlődés következett be a ***szélenergia*** - melyet szélfarmokon és szélerőmű-parkokban hasznosítanak - és a ***napenergia*** hasznosításában is. Az EU előírása[3] szerint létrejött tervben kifejtették, hogy ezek felhasználásának növekedése várható a jövőben, tekintettel arra, hogy a környezetszennyezés csökkentése szempontjából kiemelt szerepet játszanak.

Fontos megújuló energiaforrás lehet a világban óriási mennyiségben termelődő ***biomassza***. Ma még a biomassza potenciálnak töredék részét hasznosítják, kivéve néhány országot, ahol jelentős a szerepük az energiaellátásban. Így pl. Brazíliában nagy jelentősége van a bio-hajtóanyagoknak, de egyes európai országokban (Franciaország) is számottevő a

---

[2] Fenntartható használat (sustainable use): a használatnak az a legnagyobb mértéke, amely mellett a megújítható természeti erőforrást jelentős leromlás vagy károsodás nélkül használhatjuk.
(Dr. Thyll, 1996)

[3] A Természetvédelmi Hivatal 2003 őszén elindított egy kutatási programot, a *„Természet- és tájvédelmi koncepció kidolgozása a megújuló energiaforrások magyarországi hasznosításának területi vonatkozásairól különös tekintettel a szélerőművekre”* címmel. A kutatás célja, hogy elősegítse és megalapozza a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos beruházások helyének és kialakításának táj- és természetvédelmi szempontból megfelelő területi értékelését a 2005-re tervezett széltérképpel összhangban. *(KvVM-Természetvédelmi Hivatal-Tájékoztató)*

biodízel-hasznosítás. Hazánkban elsősorban a tüzelési célú mezőgazdasági melléktermék felhasználásának van jelentősége. *(Sembery & Tóth, 2004)*

A tengerek és óceánok hatalmas méretű energiát rejtenek. Az ebből adódó lehetőségek kihasználása mind a mai napig csekély. Íme, néhány példa az ***óceán energiáját alkalmazó erőművek***re:

- *Tengeráram erőmű*: A tengeráramok eredete a Föld forgásából, valamint a napsugárzás elnyeléséből adódnak. Ezeket az erőműveket az óceánok meghatározott pontjain helyezik el. Energiájuk hasonló nagyságrendű, mint amennyit manapság globálisan felhasználunk.

- *Ár-apály erőmű*: A jelenleg üzemelő erőművek kapacitása 100 kW - 240 MW tartományban vannak. Szivattyús rendszerrel kiegészítve energiatárolásra is alkalmas.

- *Óceánok vertikális hőmérsékletére épülő erőmű*: Trópusi tengerek esetében a felső réteg hőmérséklete 24-33°C, míg 500-1000 m mélységben a víz hőmérséklete 3-9°C. A rendszer hőszivattyúként működik, ahol a tenger vize megfelelően kialakított vákuum alatt elpárolog. A demonstrációs modellek teljesítménye 22 kW-tól 1 MW-ig terjedhet.

- *Hullám-erőmű*: Európára külön hullámenergia atlaszt készítettek, amely alapján a becsült létesíthető erőmű teljesítménye 320 GW. A megépült minta-erőművek teljesítménye 75 kW-tól 2 MW-ig terjed.

(Dr. Bence, 2005)

Megemlítem még a ***geotermikus energiá***t, amely a Föld belső hőjéből származó energia. A Föld belseje felé haladva a hőmérséklet emelkedik. Ez az érték (geotermikus gradiens) hazánkban 5°C/100 m. Magyarországon a geotermikus energiafelhasználás 2004-es adat szerint 2204 GWh/év volt. *(Dr. Pátzay, 2009)* A geotermikus energia korlátlan és folytonos energia nyereséget jelent. Termálvíz formájában viszont nem kiapadhatatlan forrás. Kitermelése viszonylag olcsó, a levegőt nem szennyezi. A termálkútból feltörő vizet gáztalanítják, ülepítik, és sótartalmát részben eltávolítják, majd a felhasználás helyére szivattyúzzák, a lehűlt vizet pedig valamilyen vízáramba, vízgyűjtőbe vezetik. Amennyiben nincs a kútban vízutánpótlás, akkor idővel kevesebb vizet lehet kivenni. Megoldást jelenthet a kitermelt és már lehűlt víz visszasajtolása, amely mérsékli a mély rétegekben található vízszint csökkenését.

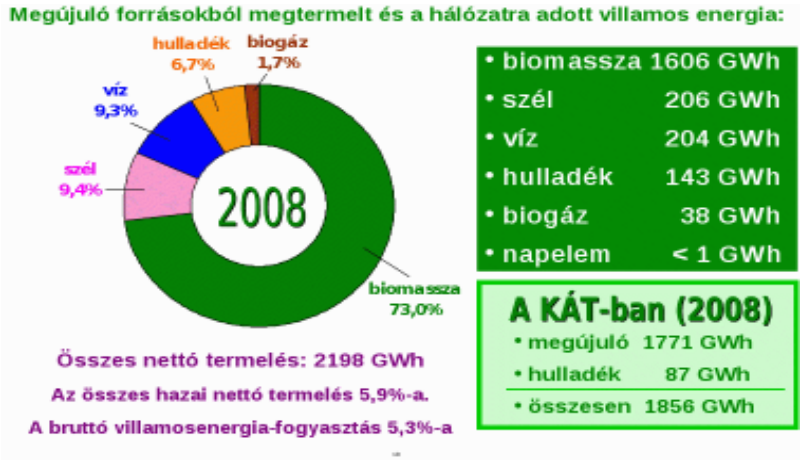
A megújuló energiaformák energiasűrűsége kisebb, mint társaiké (fosszilis, nukleáris), ezért erőműi felhasználásuk nehézkes, általában nagy területen szétterjedt energiafarmokat kell építeni. A mennyiségük azonban háztartási felhasználásra kiválóan alkalmas.

A lakásokban szokásos 230 V-os, 16 A-es elektromos hálózat maximális teljesítménye 3,7 kW/nap (1350 kWh/év). Ezt egy hagyományos ~115 W/m^2-es teljesítményű napelem-konstrukcióval elő lehetne állítani kb. 8-9 m^2 felületről. *(Tegola Ungarese)*

A napenergia és a szélenergia kivételével, valamennyi megújuló energiaforrásból származó energia a háztartásokban kerül felhasználásra; a napelemek és a szélerőművek által megtermelt többletáram azonban a hálózatba visszatáplálható. Ez a leghatékonyabb támogatási rendszer, amelyet először Németországban[4] alkalmaztak. *(Hoffmann, 2006)*

Sok országban törvény kötelezi a szolgáltatót a többlet energia visszavásárlására. Magyarországon 2010. január 1-jétől 29,28 Ft/kWh-s (ÁFA nélkül) áron veszi át az energiaszolgáltató *(*lásd: *Függelékben, E)*.

Megújuló energiaforrásokból megtermelt és hálózatra adott villamos energia Magyarországon 2008-ban:



2. ábra: Megújulókból termelt villamos energia Magyarországon (Dr. Stróbl – ETE-MTT)

A táblázatban *(2. ábra)* láthatjuk, hogy Magyarországon, 2008-ban a bruttó villamosenergia-fogyasztás 5,3%-át fedezte a megújulókból származó energia. Az összes nettó termelés 2198 GWh volt, ami főleg a biomassza-égetésből származott (73% - 1606 GWh), másodsorban a szél- és a vízenergia járult hozzá ~200-200 GWh-val. A hulladék elégetésével 143 GWh-hoz jutottunk, míg a biogáz és a napelem adta a legkevesebb energiát.

[4] Németországban jelenleg a napenergia nyolcszor többe kerül, mint a széntüzelésű erőműben és atomerőműben előállított energia. Az ország teljes áramigényének fél százalékát fedezik napelemek, és egyre több német háztartásban szerelnek fel napelemeket, amelyek a távol-keleti országokból származnak. Az EPIA (Európai Napenergia-ipari Szervezet) szerint, a hálózatra 1500-2000 MW kapacitású napelemes áramtermelő rendszert csatlakoztatnak egy évben. *(Napcsoport)*

A napelemekből kevesebb, mint 1 GWh-t szereztünk. A megújulókból és a hulladék elégetéséből nyert, kötelező átvétel alá eső energia (KÁT) 1856 GWh-t jelentett a hálózatnak.

1.2 A napsugárzás fizikája

A napenergia felhasználásának megértéséhez hasznos tudni, és szeretném megemlíteni a folyamat fizikai hátterét és az energiát szolgáltató Nap tulajdonságait.

A Nap felszíni hőmérséklete[5] nagyjából 6 000 °C, középpontjában a hőmérséklet 15 millió °C. Még 57 735 000 km távolságból is ellátja annyi energiával az emberiséget, amennyire szüksége van, ha azt megfelelően ki tudnák használni. *(http://www.kia.hu/konyvtar/szemle/63_f.htm)*

A napsugárzás energiája a Napban lejátszódó magfúziós folyamatok során keletkezik. Ennek az energiának egy része $3{,}8 \times 10^{26}$ J/s sugárzási teljesítménnyel szétsugárzódik a Napot körülvevő térbe. A Föld felszínét érő napenergia intenzitásának napi csúcsértéke (tiszta időben) 0,7-1 kW/m^2 között változik, a tengerszint feletti magasság függvényében. A légkör felső szélén ez az érték 1370 W/m^2, ezt szokás napállandónak[6] nevezni. A felszínre eső napenergia mennyiségét természetesen befolyásolja még a napszak, az időjárás, leginkább a felhőzet és az, hogy milyen szögben felállított felületen vizsgáljuk a napsugárzást. *(Környezetfizikai módszerek laboratóriumi gyakorlat: Akkumulátorok feltöltése napelem segítségével)* Ez a mennyiség 777×10^{15} kWh/év, amelyből hasznosítható 150×10^{15} kWh/év. *(Dr. Thyll, 1996)*

A beeső napenergia reflektált hányada, az ún. albedó[7] 85%-át az atmoszférikus albedó (reflexió, ill. szóródás a felhőkön, továbbá az atmoszféra gáz halmazállapotú komponensein és az aeroszolokon), 15%-át pedig a földfelületről visszavert energia teszi ki. Az elnyelt energiából a teljes sugárzó energia 34%-át az óceánok, 48%-át a szárazföld

---

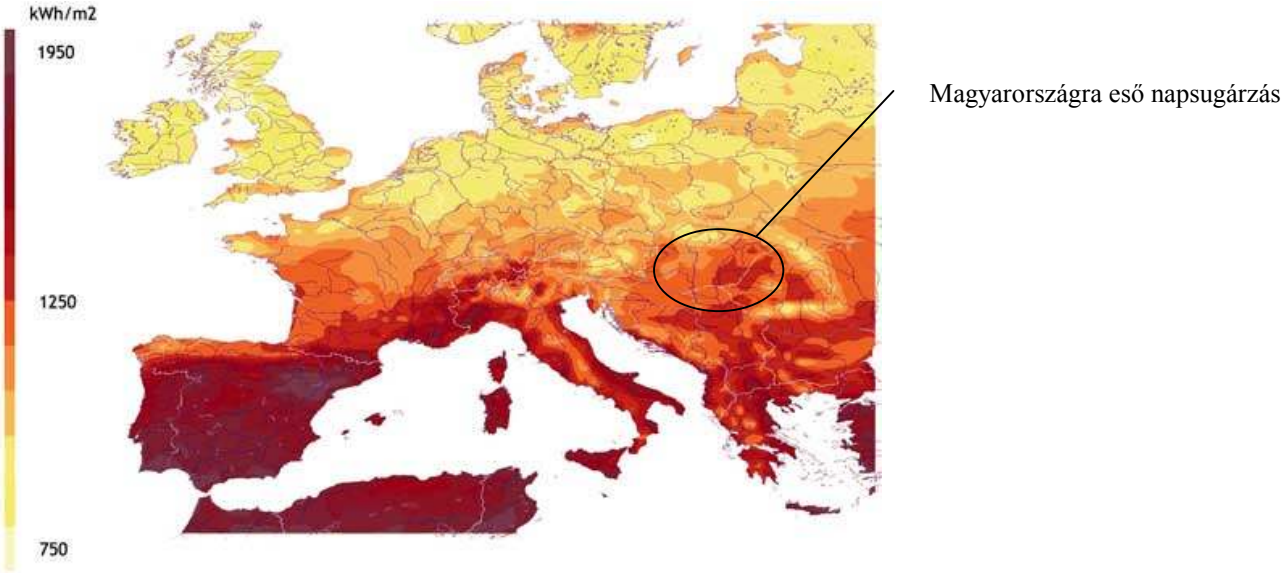
[5] *Hő* hatására a molekulák gyorsabban mozognak. Az a hőmennyiség, melyet egy tárgy elveszít vagy nyer, kalóriákban fejezhető ki. Egyetlen kalória szükséges ahhoz, hogy egy gramm víz hőmérsékletét egy Celsius fokkal növeljük. A *hőmérséklet* mérésére használható a Celsius skála, a Fahrenheit és a Kelvin (vagy abszolút) skála. *(http://www.kia.hu/konyvtar/szemle/63_f.htm)*

[6] Napállandó: a légkör külső határán a napsugárzás irányára merőleges 1 cm^2 felületre közepes Nap-Föld távolság esetén percenként 8 J energia érkezik. *(Dr. Thyll Sz., 1996)*

[7] Albedó: a 100%-os albedójú tárgy a ráeső fényt teljes mértékben visszaveri, a 0%-os pedig az abszolút fekete test. A Föld átlagos albedója 39%, a friss hófelszíné 80-90%, füves területé 20-30%, erdőé 5-10%, tengeré szintén 5-10%. *(http://hu.wikipedia.org/wiki/Albed%C3%B3)*

és a jégfelületek abszorbeálják; a fennmaradó részt, 18%-ot pedig az atmoszféra komponensei nyelik el. A besugárzás mértéke függ az időjárási viszonyoktól (felhős, párás időben kevesebb éri el a felszínt) és a földrajzi szélességtől (az Egyenlítőhöz közeledve nagyobb a besugárzás) is.

A lenti ábrán *(3. ábra)* látható Európa napsugárzási térképe, amelyen Magyarországot külön jelöltem. A színekből kivehető, hogy a Magyarországra eső éves napenergia mennyisége 1200-1300 kWh/m^2 átlagosan.



3. ábra: A beeső napsugárzás Európában (New et al., 2002)

A *4. ábrán* láthatóak a 2002-es év besugárzási adatai, melyek szerint Magyarországon májustól augusztus végéig a legnagyobb a besugárzás (4,77-28 kWh/m^2/nap). A felhőborítottság júliusban és augusztusban a legkisebb. Az átlaghőmérséklet a nyári hónapokban a legnagyobb (17,54-19,88^{o}C); a legtöbb csapadék szintén nyáron esik (54-68 mm), illetve még novemberben (56 mm). Az év során szeptemberben és októberben van a legkevesebb csapadékos nap.

Budapest, Magyarország: Napenergia és földfelszíni meteorológia

Hónapok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Besugárzás, kWh/m²/nap	1.07	1.86	2.81	3.99	4.95	5.19	5.28	4.77	3.23	1.95	1.12	0.86
Tisztaság (felhőtlen ég: 0 felhős ég: 1)	0.38	0.43	0.43	0.45	0.46	0.45	0.48	0.50	0.43	0.38	0.35	0.36
Hőmérséklet, °C	-2.04	-1.18	3.05	8.83	14.76	17.54	19.89	19.88	15.07	9.92	3.53	-1.01
Szélsebesség, m/s	5.28	4.98	4.48	4.33	3.99	4.36	4.32	4.26	4.70	4.23	4.51	5.20
Csapadék, mm	36	33	31	40	58	68	54	52	40	40	56	45
Csapadékos napok száma	11.9	10.7	10.7	11.0	12.6	13.0	11.0	10.5	8.8	8.4	12.4	12.8

4. ábra: Magyarország: Napenergia és földfelszíni meteorológia (New és társa, 2002)

Az interneten elérhető egy - az EU Bizottság támogatása révén kidolgozott – nyilvános kalkulátor[8], ahol kiszámolható, hogy pl. Magyarországon az éves átlagos napsugárzással, hőmérséklettel, a rendszer veszteségeivel (kábelek, inverter vesztesége) együttesen, mennyit fog termelni a telepített napelemes rendszer.

Beállítható a kalkulátorban a tetőnk dőlésszöge és tájolása (Magyarországon ideális a 30-60° közötti és pontosan déli irányú), ha pl. 45°-os dőlésszögű a tető és 20°-kal délkeleti irányba néz, akkor mennyi áramot termel a napelem.

A kalkulátor alapbeállítása a veszteségre vonatkozóan 14%, de - főként az inverterek technológiai fejlődése következtében - ma már elég 10%-os vesztességgel számolni.

A kalkulátorral kiszámoltam három különböző típusú - a későbbiekben részletesebben tárgyalandó - napelem (kristályos szilícium, CIS, CdTe) várható éves energiatermelését. Az alapbeállítás minden kalkulációnál 1 kWp[9] (Magyarországon ~1300 kWh/m^2/év) bejövő sugárzás, 35°-os tető-dőlésszög, 10%-os rendszer miatti veszteség és szabadtéri elhelyezés volt. A *pontos adatok*[A] *napelemekre* kiszámítva a Függelékben láthatók. Az eredmény az volt, hogy Magyarországon nem érdemes 1200 kWh-nál több megtermelhető energiára számítani egy évben 1kWp-es rendszer beépítése esetén.

[8] Internetes kalkulátor: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php

[9] kWp: A fotovoltaikus panelek által megtermelt energia mértéke. A standard (laboratóriumi) körülmények között maximálisan megtermelhető energiát mutatja, a következők szerint: direkt napfény: 1000 W/m^2, hőmérséklet: 25°C. Magyarországon 1kWp ~ 1100-1300 kWh/m^2/év.

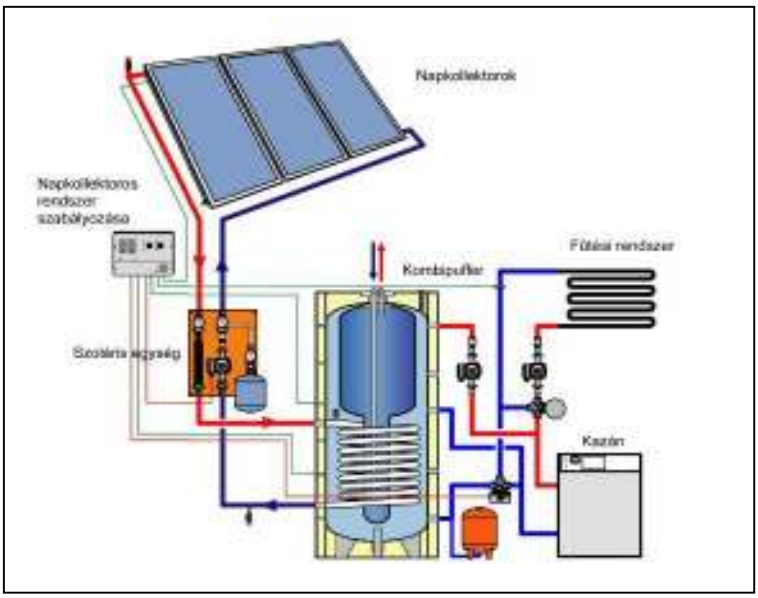
1.3 Napenergia felhasználási technológiák áttekintése

A napenergia felhasználásának két fatája van úgymint a *passzív*, és az *aktív* napenergia hasznosítás. Az aktívak közé tartozik a *napelem* (fotoelektromos napenergia hasznosítás), amely elektromos áramot termel, és a *napkollektor* (termikus napenergia hasznosítás), amellyel meleg vizet állíthatunk elő. A *passzív* napenergia hasznosítás az *építészet*ben mutatkozik meg, melynek során külön kiegészítő eszköz igénybevétele nélkül lehetséges a napenergiát épületek fűtésére használni, például megfelelő tájolással, üvegezéssel, hatékony szigeteléssel.

A ***napelemek*** működésének lényege, hogy a beérkező energiát közvetlenül elektromos energiává alakítják, mely tárolása akkumulátorokban (ólom és nikkel-kadmium akkumulátor) megoldható. De mint már korábban említettem, az áramszolgáltató köteles átvenni a napelemmel termelt többletenergiát, és a villanyszámlából levonják a betáplált energia árát.

A napelemek által előállított elektromos energia felhasználása sokoldalú: használható például az elektromos berendezések energiával való ellátására, fűtésre, a bojler vizének felmelegítésére. A legtöbb napelem működéséhez direkt napsugárzás szükséges, ilyenkor 10-15%, esetenként 20%-os teljesítmény is elérhető. Újabban vannak olyan napelem konstrukciók, amelyek nem igényelnek közvetlen sugárzást.

Ezzel szemben a napkollektorok *(5. ábra)* 30-60%-os teljesítményre képesek, és a diffúz sugárzást is hasznosítják. Egy napelemmel azonos nagyságú kollektor felületről



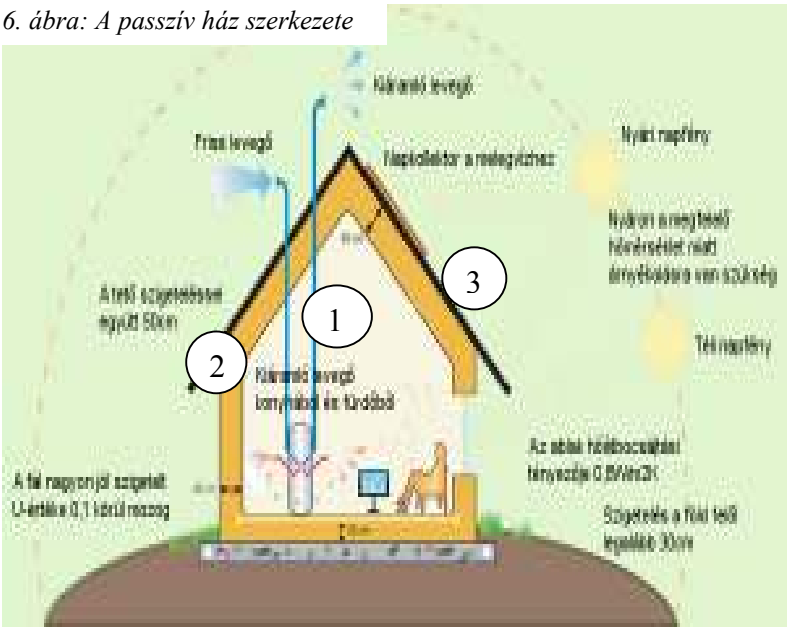
5. ábra: Napkollektoros rendszer

háromszor több energia nyerhető. Működésük eredménye, hogy a beérkező energiával meleg vizet képesek felmelegíteni, amivel családi házakat, panelépületeket, irodákat lehet fűteni. A meleg víz tárolása tartályokban (pl. kombipuffer) történhet. Az elérhető hőmérséklet kb. 40°C. Egy személy naponta 50-60 l vizet használ el, aminek előállításához 2-3 kWh hőenergia kell. Nyáron 2-2,5 kWh/nap hőenergiát lehet előállítani 1 m^2 napkollektorral. A téli időszakban pedig 0,5-1,5 kWh-t naponta. Ez azt jelenti, hogy 1-1,5 m^2 napkollektor személyenként elegendő a ház meleg víz szükségletének ellátására. Persze a téli időszakban az elektromos energiával ki kell segíteni a rendszert, de így éves átlagban 60-70%-os megtakarítás érhető el. Hátrányként mutatkozhat meg, hogy egy családi ház esetében 400-500 literes tartályt is be kell szerelni. Az ilyen tárolókban általában két belső csőkígyó, hőcserélő található. Jó megoldás az is, ha két sorba kapcsolt tárolót alkalmaznak, melyek közül az elsőt napkollektorral, a másodikat hagyományos módon fűtik.
(http://www.naplopo.hu/prospekt/napkollektor-melegv%EDz.html)

A következő megemlítendő napenergia hasznosítási mód az egyre jobban elterjedőben lévő *passzívház* (németül Passivhaus). A passzívház olyan épület, amelyben a kényelmes hőmérséklet biztosítása megoldható kizárólag a levegő frissen tartásához megmozgatott légtömeg utánfűtésével vagy utánhűtésével, további levegő visszaforgatása nélkül. Csak azon épületeket nevezhetjük passzívháznak, amelyek megfelelnek a darmstadt-i Passzívház Intézet (Passivhaus Institut) hivatalos minősítési rendszerének. Ez a világ több országában az energiatakarékos épületekre alkalmazott német minősítési rendszer. Magyarországon 2009 februárjában adták át az első olyan épületet Szadán, amely rendelkezik ilyen hivatalos tanúsítvánnyal.
(www.wikipedia.hu)

Azon épületek tartoznak a passzívház kategóriába, amelyek fűtési, hűtési energiaigénye nem haladja meg évente négyzetméterenként a 15 kWh-t.

6. ábra: A passzív ház szerkezete



Összehasonlításképp: a jelenlegi átlagos itthoni házak négyzetméterenként évente körülbelül 200 kWh elektromos áramot fogyasztanak.

Az *6. ábrán* látható, hogy a passzívház 40-50 cm vastag fallal rendelkezik (2.), melyből a hőszigetelés 20-30 cm (3.), megakadályozva a benti hő távozását. A kifelé áramló hőveszteséget minimálisra kell csökkenteni, a hőhidak[10] létrejöttét meg kell akadályozni. A passzív ház levegőjének frissítéséhez ellenáramú hőcserélő (1.) kontrollálja az állandó légáramlást, és az elhasznált levegő hője 90%-os hatásfokkal felmelegíti a beáramló friss levegőt.

A délre néző nagy ablakfelületek beengedik a napsugarakat, az felmelegíti a levegőt, amit aztán a hőszigetelt falak nem engednek kifelé visszaáramlani. A ház túlmelegedését pedig rolókkal és árnyékolókkal kell megoldani. A külső nyílászárók háromrétegű üvegezéssel ellátott, fóliázott, kripton gázzal töltött, hőszigetelt szerkezetek. A passzívházban napkollektort és napelemeket célszerű használni.
(www.passzivhazak.hu/passzivhaz_mi_a_passivhaz.html)

2. A napelemek

Most áttérek dolgozatom fő témájára, a napelemekre, melyek napjainkban egyre jobban fejlődnek és egyre nagyobb teret kapnak. Magyarország fekvéséből adódóan jó adottságokkal rendelkezik és lehetősége nyílik a napelemek alkalmazására. Szó lesz a napelemekről általában, majd részletezem az egyes fajtákat is.

A *napelem*: más néven fotovoltaikus cella, vagy PV-cella a Nap energiáját hasznosítja és belőle elektromos áramot állít elő - fotoeffektus révén.

Fotoeffektus: fényelektromos hatás, olyan fizikai jelenség, amely kizárólag a félvezető anyagokban lép fel. Amikor fotonok érik a félvezető anyagok felszínét, átadják energiájukat az anyag elektronjainak, s ezzel elmozdítják őket a pályájukról. Amennyiben a félvezető felszínét megfelelő anyagokkal vonják be, az, az elektronokat a felszínhez vonzza, és az elektromos áram alapját képező elektromos töltés keletkezik.

[10] Hőhíd: ha a belső hőmérséklet magasabb a külsőnél és a fal vékony, vagy nem szigetelt eléggé, a pára lecsapódhat a falon, bepenészedhet.

A szilícium napelemekről általában

A napelemek 90%-a szilíciumból készült. A szilíciumnak napelem minőségűnek kell lennie. Korábban a napelem ipar a félvezetőipar hulladékából élt. Ma akkora mennyiségű alapanyagra lenne szükség, hogy nincs elegendő hulladék, mert 1000-100 000 m^2-nyi napelemet kell produkálnia a gyártóknak. Ezt a hiányt nevezik szilícium-ínségnek.

Ennek megoldására három lehetőség kínálkozik; saját forrást kell találni, vagy csökkenteni kell a legyártandó napelem mennyiséget vagy más technológia után kell nézni, ahol más lesz az alapanyag is. Végülis a napelem ipar félvezető gyárakat hozott létre. A szilíciumot kvarchomokból (SiO_2) kezdték előállítani, melyet kvarchomokbányákból bányásztak. Ilyen minőségű alapanyagot nem lehet bármilyen homokból előállítani, például a Duna medréből kotort homok nem volna megfelelő, már a szennyezettsége miatt sem.

A napelem eleinte csak visszatermeli a befektetett energiát, ami a bányászatához, az előállításához kell, ez az idő az energy payback time. A napelemet zöld energiaforrásnak tartják, ami szerint környezetbarát, valójában megvizsgálva a dolgot, az előállításához szükséges energia előállítása még akár széntüzelésű erőműben és atomerőműben is történhet. *(Lábadi - MTA-MFA)*

2.1 A napelemek működése

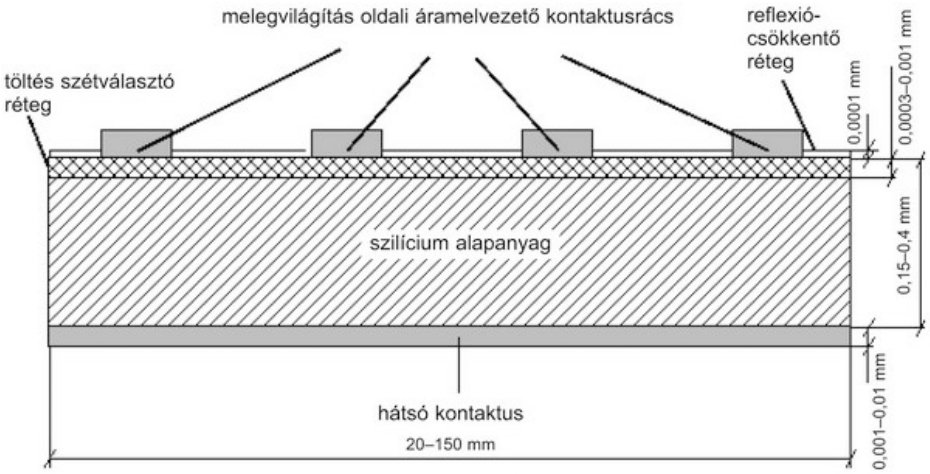
A napelem egy félvezető dióda, benne egy n-típusú és egy p-típusú anyaggal szennyezett félvezető réteg helyezkedik el. A napelemre beeső fény fotonjai fotoeffektussal elektronokat hoznak mozgásba, és löknek át az egyik félvezető rétegből a másikba. Így a napenergia intenzitásával arányos áram keletkezik. *(Horváth Á., 2006)*

Amint már korábban említettem, a PV-cella/napelem leggyakrabban szilíciumból készül. A szilícium - stabilitásából adódóan - elméletileg korlátlan ideig változatlan marad, így igen alkalmas ilyen célokra történő alkalmazásra.

Az egykristályos Si alapú napelemekben *(7. ábra)* az n-típusú félvezetők kristályos szilíciumból készülnek, amelyet igen kis mennyiségű foszforral szennyeznek. A szennyezési eljárás által az anyag fölösleges szabad elektronokkal fog rendelkezni, és éppen ezért lesz ez a negatív félvezető. A p-típusú félvezetők is kristályos szilíciumból készülnek, melyet kis mennyiségű bórral szennyeznek, ezáltal elektronhiány lép fel benne, ezért ez lesz a pozitív félvezető (a pozitív töltések túlsúlyba kerülése miatt). A két ellentétes töltésű félvezetők

között elektromos mező jön létre, ez okozza a különböző töltésű részecskék ellentétes irányba történő áramlását. A napelemre eső fény energiával rendelkező részecskékből, fotonokból áll. Amikor a megfelelő hullámhosszúságú fény a napelemre – a pozitív-, és a negatív félvezető kapcsolódására – esik, akkor a fény fotonjai energiájukat átadják az anyagban található elektronoknak, így azok magasabb energiaszintre jutnak, és elmozdulásra lesznek képesek.

A gerjesztett elektronok szabaddá válnak, és vándorlásuk által vezetik az áramot. Az elektronok helyén az anyagban „lyukak" keletkeznek, amelyek szintén képesek elmozdulni úgy, hogy betölti őket egy máshonnan érkező elektron. Amikor a fotonok gerjesztik az elektronokat, a kiugrott elektronok a negatív, a lyukak a pozitív vég felé fognak áramolni - az elektront a pozitív töltés vonzza - így jön létre az elektromos áram. A PV-cella 0,5 V elektromos feszültséget képes termelni, egészen 2,5 A-es áramerősségig, amely kb. 1,25 W-nak felel meg.



7. ábra: *Egy átlagos Si alapú napelem felépítése*

A napelem esetében a galvánelemhez hasonlóan rövidzárási áramról[11] és üresjárási feszültségről[12] beszélhetünk, amit az eszköz sarkaira kapcsolt kis belső ellenállású árammérővel és nagy belső ellenállású feszültségmérővel mérhetünk. *(Nemcsics, 2001)*

A szabályos kristályok elektronjainak energiájára a sávszerkezet jellemző. Az egyes atomok vegyértékelektronjaihoz a kristályban a vegyértéksáv tartozik, az első betöltetlen atompálya energiájához a vezetési sáv. A fizika törvényei szerint csak ezekben a sávokban

[11] Short Circuit Current: rövidzárási áram, a napelemek csupasz végeinek összekötésével rövidzárat alakítunk ki az ebben az esetben fellépő legnagyobb áram a rövidzárási áram (I_{sc}, A vagy mA)

[12] Üresjárási feszültség: a terheletlen elem feszültsége, a belső feszültség és a kapocsfeszültség összege. A belső feszültség az áramforrás ellenállásának feszültsége, a kapocsfeszültség pedig a terhelt elem sarkai között jön létre. *(Sánta Csaba: Fizika jegyzetek*: *http://apeiron.uw.hu)*

lehet az elektron energiája. A félvezető félúton helyezkedik el a vezetők és a szigetelők között. A vegyérték- és a vezetési sávot elválasztó tiltott sáv kicsi, anyagtól függően 1-2 eV. A hőmozgás 1/40 eV-os átlagos energiája nem elegendő, hogy az elektronok a vegyértéksávból a vezetési sávba kerüljenek, de a részecskék mozgásának eloszlásában mindig vannak - ugyan nagyon kicsi számban - sokkal nagyobb energiájú részek is, melyek feljuthatnak a vezetési sávba. A félvezető kristályban, ha az tiszta és hibahely-mentes, nincs szabad töltéshordozó. Ha feszültséget kapcsolunk rá, akkor azon nagyon kicsi áram folyhat csak. A látható fény 1-3 eV közötti energiával rendelkező fotonjai pontosan elegendőek, és felemelhetik a töltéseket a vezetési sávba.

A félvezető (dióda) legfontosabb tulajdonsága, hogy egyenirányító. A két része (p- és n-típusú félvezetők) között ugyanis elektromos térerősség alakul ki. Ez az egyik irányba haladó elektronokat átsegíti az átmeneten, a másik irányból érkezőket viszont leállítja. A napelemen mérhető feszültség azonban nem függ a napsugárzás intenzitásától, szilícium esetében ez mindig 0,7 V. Nagyobb feszültség eléréséhez több cellát kell sorba kapcsolni (modul). *(Környezetfizikai módszerek laboratóriumi gyakorlat: Akkumulátorok feltöltése napelem segítségéve)*

2.2 A szilícium-napelemek előállítása

A tisztított szilícium alapanyagot egykristállyá húzzák vagy polikristályos szerkezetnél grafit, illetőleg kerámiaformába öntik, majd ezt követően szeletelik. A szokásos diffúziós félvezető technológiai eljárásokkal alakítják ki a töltésszétválasztó réteget, és vákuum-, illetőleg szitanyomásos eljárással hozzák létre az áramelvezető kontaktusokat. A kedvezőbb hatásfokot optikailag illesztett reflexiócsökkentő bevonat és/vagy többszöri reflexió kialakításával, felületi texturálás alkalmazásával érik el.

A napelemeket általában nagyobb egységekbe, modulokba szerelik, melyekben az egyes elemeket sorosan, ritkábban vegyesen kapcsolják. A napelem-modulok szokásos névleges feszültsége 12 V, de készülnek kisebb és nagyobb – általában a szabvány feszültségsorhoz illeszkedő vagy átkapcsolható – névleges feszültségű modulok is. Névleges teljesítménye néhány watt és néhány száz watt között van. A napelem-modulok mérete a néhány száz négyzetcentimétertől a néhány négyzetméteres tartományba esik.

Az egyes gyártók egymástól általában eltérő konstrukciójú és méretű modulokat hoznak forgalomba. A modulokban a napelemek hermetikusan el vannak zárva a

környezettől, és az alkalmazott konstrukciós anyagok megválasztásánál a komoly gyártók gondosan ügyelnek a tartósságra.

Hőkezelt, nagy szilárdságú és kis vastartalmú üveget használnak az első, megvilágított oldalon és szintén üveget, alumíniumot vagy speciális műanyagokat a hátsó oldal lezárására és védelmére. A napelemek az első és hátsó oldal között speciális, optikailag illesztett és időtálló műanyagba vannak beágyazva, melyek neve EVA (etil-vinil-akrilát) és PVB (polivinil-butilát) vagy speciális szilikongyanta.

A napelem-modulokat általában alumínium profilkeret zárja le, amelyen kialakított furatok vagy kiépített kötőelemek teszik lehetővé a tartószerkezethez való rögzítésüket. Készülnek azonban alumíniumkeret nélküli vagy egyéb kialakítású - mint pl. tetőfedőelem (zsindely, cserép) - modulok is. Ezek rögzítése speciális rugalmas megfogási, ragasztási, ill. egyéb, a gyártó által javasolt rögzítési technológia alkalmazását teszi szükségessé.

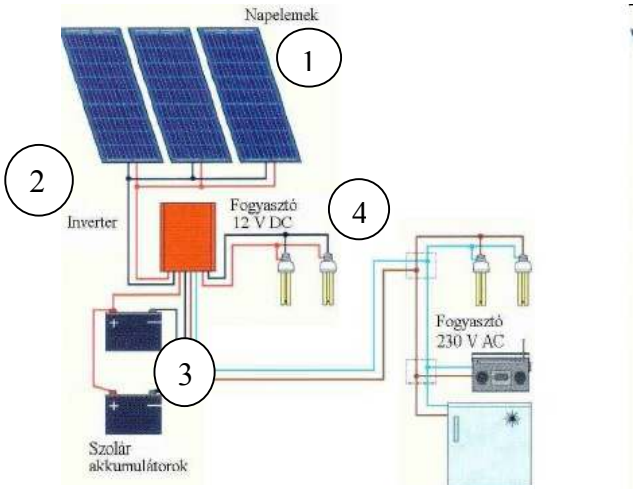
A modulok villamos csatlakozása általában a hátsó oldalon kialakított, hermetikusan zárható csatlakozódobozban van, és a villamos vezeték sarusan vagy közvetlenül csatlakoztatható, csavaros szorítással. Készülnek azonban csatlakozó doboz nélküli napelem-modulok is, amelyek vagy csatlakozó vezetékkel vannak ellátva, vagy a modulon olyan kontaktusokat alakítanak ki, amelyek ellendarabbal vagy közvetlenül csatlakoztathatók.

Meg kell említeni, hogy más anyagokból és egyéb eljárásokkal is készülnek napelemek. Ezek közül kiemelném az amorf szilícium alapanyagú napelemeket, amelyek korszerű vékonyréteg technológiai eljárásokkal készülnek és akár görbült felületekre is kialakíthatók (lásd: energiatermelő zsindely). A kristályos szilícium napelemek energia átalakítási hatásfokának eléréséhez nagyobb aktív felület szükséges. Készítenek napelemeket gallium-arzenid, réz-indium-szelenid és kadmium-tellúrid anyagokból is.
(*http://www.tankonyvtar.hu/mezogazdasag/szolgaltatastechnika-2-4-080906-5)*

2.3 A napelemek beépítése

A napelemek beépítésének mikéntje, a berendezés megválasztása, illetve a környező infrastruktúrába integrálás figyelembe vételével alapvetően kétfélék lehetnek: *izolált* (stand-alone) *rendszer*ek és *hálózatra kapcsolt* (grid-connected) *rendszer*ek. Az *izolált rendszer*ek nincsenek a hálózatra kötve, fotovoltaikus modulokból (1.), töltésszabályozóból (4.) és

akkumulátor-rendszerből (3.) állnak. Ez utóbbi gondoskodik az áramellátásról, ha a megvilágítás gyenge vagy sötét van.

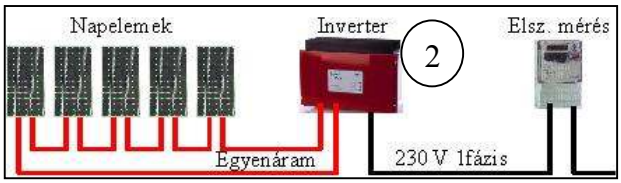


8. ábra: Egy épület napelemes rendszere

A hálózatra kapcsolt rendszereknél a berendezések fixen rá vannak kötve az elektromos hálózatra. Ennek az az előnye, hogy amikor a napelem nem képes a megfelelő mennyiségű áramot termelni, akkor az energiát a hálózat szolgáltatja, illetve a megtermelt többletenergiát a hálózatba lehet visszatáplálni. *(Tegola Ungarese)*

A hagyományos mérőórákkal szemben a napelemes rendszerekhez olyan mérőórákat használnak, melyek mindkét irányban "pörögnek" azaz a betáplált energiát "levonják" az elhasználtból. Az áramszolgáltató köteles a megtermelt, de el nem használt energiát megvásárolni, valamint a napelem működéséhez szükséges mérőórát biztosítani.

A napenergia hasznosításához a napelemeknek szükségük van bizonyos kiegészítő eszközökre, például inverterre (2.), amely segítségével tudják a napelemes rendszer által termelt ingadozó-feszültséget a hálózatba betáplálható (használható) feszültséggé alakítani.



9. ábra: Napelemes rendszer inverterrel

2.3.1 A napelem által termelt energia tárolása

Fontos kérdés, hogy az előállított energiát milyen módon lehet tárolni, ha nincs egész évben elegendő napsugárzás az energiaigény kielégítéséhez. Erre szolgál az akkumulátor. Júniustól szeptember végéig a napelem energiatermelése általában meghaladja a szükséges energiaigényt. Ilyenkor az akkumulátor teljesen feltöltődik, illetve ha feltöltött állapotban volt a napelem, akkor a megtermelt energiatöbblet elvész. Októbertől az akkumulátor töltése szolgáltatja az energiát, és legközelebb következő év szeptember végén lesz újra feltöltött állapotban. *(Barótfi, 2000)*

2.3.2 A napelemek dőlésszöge

A másik lényeges dolog, hogy elegendő energiához jussunk és hogy kihasználjuk a beérkező napsugárzást, hogy a napelemek dőlésszögét jól állítsuk be. Az olyan rendszerben, amely egész évben működik, előnyös a meredek beépítés, mert ez nagyobb mértékben hasznosítja a kis napmagasság alatt érkező téli napsugárzást. Hazánkban az optimális dőlésszög 30-60° között van (egész éves üzem esetén 43,5^o, májustól szeptemberig 32,4^o, novembertől márciusig 63,5^o).

Magyarországon a szórt sugárzás részaránya jelentős, ez a rögzített elhelyezésű síklapú napelem alkalmazását indokolja, amelynek optimális tájolása déli vagy attól +-15°-kal térhet el nyugatra (délelőtt nagyobb a párásság, mint délután). *(Barótfi, 2000)*

2.4 A napelemek hatásfoka

A napelemek a napsugárzásból származó energiát különböző mértékben képesek hasznosítani. Ennek mértéke a hatásfok, amely különböző napelem típusoknál (még akár azonos típusú napelemeken belül is) változhat. A hatásfok százalékosan fejezi ki, hogy a napelem mennyi napenergiát alakít át elektromos energiává.

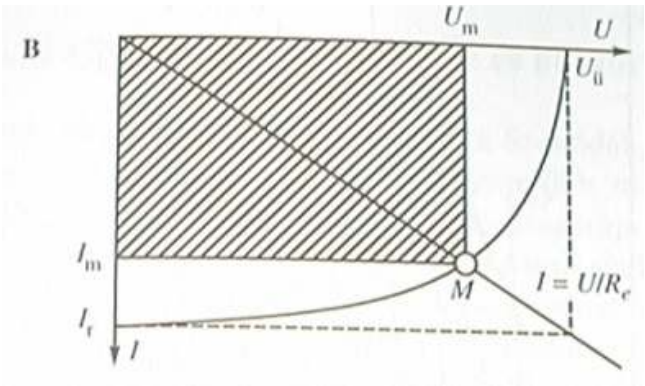
A *napelem hatásfokát* (η) a maximálisan levehető elektromos teljesítmény ($P_m=I_m x U_m$) és a beeső fényteljesítmény (P_{foto}) hányadosa határozza meg.

$$\eta = \frac{I_m \times U_m}{P_{foto}} = \frac{\varphi I_r U_{\ddot{U}}}{P_{foto}}$$

(φ: kitöltési tényező[13], I_r: rövidzárási áram, $U_{ü}$: üresjárási feszültség)

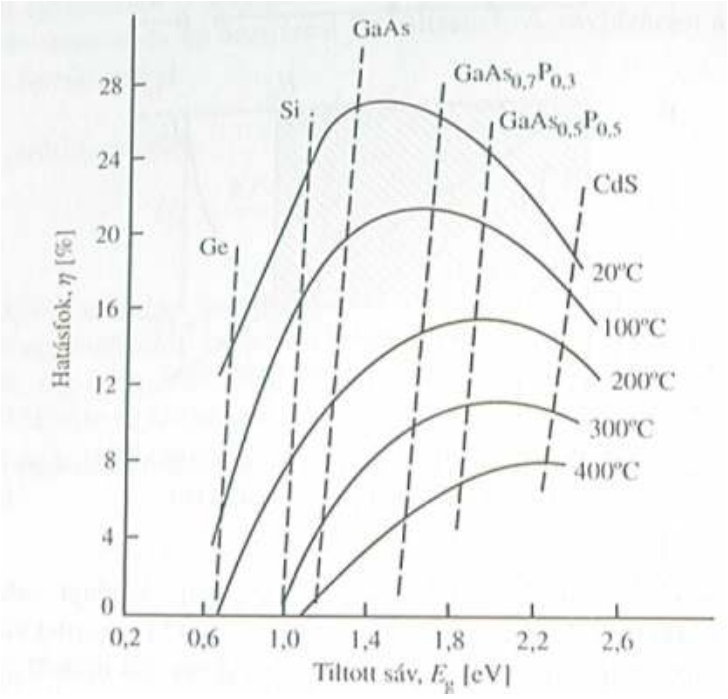
A celláról levehető maximális teljesítményt *(10. ábrán a vonalkázott rész)* a cella üresjárási feszültsége és rövidzárási áram határozza meg. Az egyenes jelöli az U és I függvényében változó teljesítményt.

[13] Kitöltési tényező: az üresjárási feszültség és a rövidzárási áram szorzata által meghatározott területek hányadosa. A maximálisan levehető teljesítmény téglalapja hány százaléka az $I_rU_ü$ által meghatározott téglalap területének.



10. ábra: A maximálisan levehető teljesítmény munkapontja (M) az áram-feszültség karakterisztikán (Nemcsics, 2001)

A napelem hatásfokának meghatározásánál fontos paraméter a félvezető anyag E_g tiltott sávjának szélessége *(11. ábra)*. Ha a beeső foton energiája (E_{foton}) kisebb, mint a tiltott sáv szélessége, akkor az nem hoz létre töltéshordozókat. Töltésgenerálódás akkor következik be, ha a foton energiája a tiltott sávnak megfelelő, vagy annál nagyobb. A legkedvezőbb tiltott sáv értékek 1-1,5 eV közötti tartományba esnek. A többletenergia (E_{foton}-E_g) hő formájában jelenik meg. Növekvő E_g tiltottsáv-szélességnél az I_{foto} áram csökken, az üresjárási feszültség nő. Az elméletileg elérhető maximális hatásfok a tiltott sáv függvényében meghatározható.



11. ábra: Különböző napelem-konstrukciókban az elméletileg elérhető maximális hatásfok a tiltottsáv-szélesség függvényében (Nemcsics, 2001)

Az *11. ábrán* látható, hogy a Si és a GaAs tartalmú napelemek elméleti hatásfoka a legnagyobb, a 24-28%-ot is elérheti 1 és 1,2 eV-os tiltott sáv-szélességnél. A GaAs foszforral alkalmazva 1,5 és1,8 eV-os tiltott sáv-szélességnél 24-26%-os hatásfokú is lehet, míg a kadmium-szulfid (CdS) hatékonysága 20%, ha tiltott sávja 2,2 eV, a germániumé (Ge) 14%, 0,7 eV-nál. Mint tudjuk, az optimális sávszélesség 1-1,5 eV közötti. (*Nemcsics, 2001)*

2.4.1 A hatásfok növelése, a hatásfok csökkenésének kiküszöbölésével

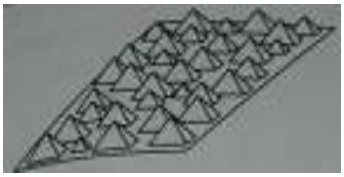
A valóságban a különböző napelemek hatásfokai az elméletitől jelentősen eltérhetnek, melyek okai a különböző veszteségek, mint az *ohmikus veszteség* (az ellenállások csökkentik a rövidzárási áramot), az *optikai veszteség* (kontaktus árnyékoló hatása) *reflexiós*, *transzmissziós*, *rekombinációs*[14] *veszteség* (mely csökkenti az I_r-t és az $U_ü$-t).

A Si-egykristályos alapanyag használata a napelem készítésben drága, ezért különböző konstrukciókkal igyekeznek javítani a hatásfokon.

Az ***ohmikus veszteség*** ellen az ellenállás csökkentésével, vagyis fémezés[15] növelésével lehet védekezni. Az ***optikai veszteség*** abban nyilvánul meg, hogy a felület aránylag kis részének árnyékolása is jelentős teljesítménycsökkenést okoz, mert ilyenkor az árnyékolt részek fogyasztókká válnak (rövidzár alakul ki). Ezt a letakarási veszteséget a fémezés méretének csökkentésével kellene elérni, viszont az ohmikus veszteség csökkentése éppen a már említett fémezés növelését kívánja. Ebben az esetben az optimumot kell megtalálni.

A fémezés kiterjedését mélységi irányban is növelhetik, ilyen az eltemetett kontaktusú BC-napelem (buried contact). Másik megoldás, hogy az egész felületet átlátszó vezetőréteggel borítják (átlátszó vezető oxidok – TCO – transparent conductive oxid).

A ***reflexió***t antireflexiós/fényelnyelő réteggel (pl. TCO) oldják meg, vagy a felület texturálásával[16]. A felület reflexiója csökkenthető a felület érdesítésével *(12. ábra)*. Marással 70,5°-os nyílásszögű piramisokat (kiemelkedő piramis, vagy bemélyedő/inverz piramis) alakítanak ki, majd antireflexiós réteggel vonják be a felületet. A reflexiós veszteség 3%-ra csökkenthető.



12. ábra: Piramisos szerkezet (Nemcsics, 2001)

[14] Rekombináció: a kristályszerkezet egy más pontjáról a hőmozgás hatására elszabaduló vegyértékelektron a lyukba „ugrik be”.
[15] Fémezés: fém tartószerkezet, keret, kontaktus
[16] Texturálás: maratással, piramis alakú képződmények jönnek létre a szilícium felületén

Számolni kell még ***transzmissziós veszteség***gel, ami az anyagon abszorpció (elnyelődés) nélkül áthaladó foton-veszteség. AM1,5[17] megvilágítás mellett 200 µm vastag szilíciumon kb. 10%-nyi a nem abszorbeálódott rész. Védekezni a transzmissziós veszteség ellen - a szilícium gyenge abszorpciója miatt - vastagabb szilíciumréteggel, vagy a szerkezet hátoldalán egy tükrös rész kialakításával lehet. *(Nemcsics, 2001)*

Az egyik legnagyobb problémát a hátoldali ***rekombinációs veszteség*** okozza, amely ellen védekezhetnek jobb kristályminőséggel, vagy úgy, hogy a fémezés előtt egy magasan adalékolt (p+) réteget alakítanak ki, amelynek optimális mélysége 2-3 µm. Így a felületi rekombinációs sebesség 10^6 cm/s-ról 10^2 cm/s-ra csökkenthető, mely megoldással az üresjárási feszültség, a rövidzárási áram és a hatásfok is nő. A homlokoldali (a napelem felső, fénnyel érintkező része) rekombinációs sebességet lecsökkenthetik úgy, hogy közelebb hozzák a felülethez a pn-átmenetet. Ez azt jelenti, hogy a hátoldal felületének egy részét oxidálják, másik részét kontaktussal látják el, befémezik. Ez a lokális hátoldali terű elrendezés.

A napelemek hatásfoka egyre jobban nő a különböző fejlesztéseknek köszönhetően. Az alábbi táblázatban láthatóak a legelterjedtebb napelem típusok és jellemző hatásfokaik.

Napelem típusa	Hatásfok %
Monokristályos szilícium	14-18
Polikristályos szilícium	13-15
Amorf szilícium	8
Háromrétegű amorf szilícium	10,4

Forrás: Kaltschmitt et al. 2006, 214

13. ábra: Különböző napelem típusok hatásfokai

[17] AM1,5: A Föld felszínére a tengerszint magasságában merőlegesen (45°), tiszta, felhőtlen időben beérkező sugárzást AM1-gyel jelölik. *AM1,5 48,2°*-os beesési szögnek felel meg. *(http://www.villanyszaklap.hu/cikkek.php?id=563)*

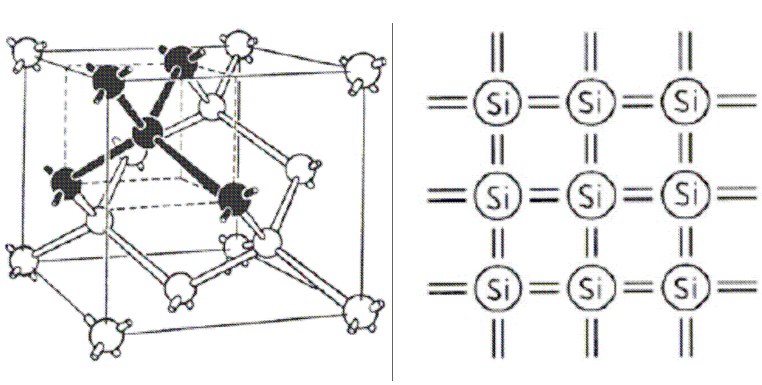
2.5 A napelemek fajtái

A továbbiakban a napelem-piac legfontosabb és legnépszerűbb napelemfajtáit mutatom be, a hagyományosnak tekinthető szilícium alapanyagútól a ritkább, vegyület-félvezetőkig.

- Monokristályos Si
- Polikristályos Si
- Amorf Si
- Vékonyréteg
    - Kadmium-tellúrid
    - Gallium-arzenid
    - CIGS
- Vastagréteg
- Eltemetett
- Foto-elektrokémiai napelemek

2.5.1 Monokristályos szilícium elemek

Az 1990-es évekig a napelemek jórészt teljesen tiszta monokristályos[18] szilíciumból készültek, ami egy egyszerű és folyamatos rácsszerkezetű, köbös, lapközéppontos ***szilíciumkristály*** *(14. ábra)*, szabálytalan részek és szennyezőanyagok nélkül.



14. ábra: Szilícium kristály

[18] Monokristály: ha egy szilíciumdarabka teljes szerkezete egyetlen szabályos kristályból áll, azt *egykristálynak*, ha pedig sok, véletlenszerűen kialakult és egymáshoz határfelületein szabálytalanul csatlakozó kristályból áll, *polikristályos* szerkezetűnek nevezik. A félvezető eszközök alapanyagaként monokristályos szerkezetű anyagot használnak.

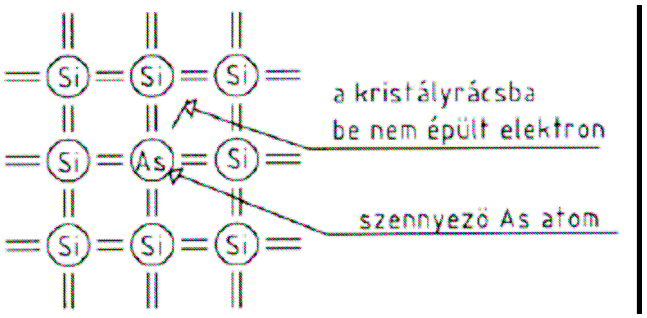
A szilíciumról kicsit bővebben

A földkéreg második leggyakoribb eleme - az oxigén után - (részaránya több mint 25%), azonban sohasem fordul elő szabadon, és gyakorlatilag mindig oxigénnel együtt található. Leggyakoribb ásványa a kvarc (SiO_2). Ásványai közül meg kell még említeni a nagy tömegben előforduló földpátokat (ortoklász - $KAlSi_3O_8$). De fontos még az olivin [$(Mg,Fe)_2SiO_4$], a piroxének [$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$], valamint az amfibolok [$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$], csillámok[19] és agyagásványok [K, Mg, Ca, Na-Al-hidroszilikátok]. *(Hartai, 2003)* A kvarc és a szilikátok alkotják a vulkáni kőzetek 98%-át, az üledékes kőzeteket is túlnyomóan ezek képezik.

A *14. ábrán* bemutatott ideális kristálytól eltérően a valóságos kristályban kristályhibák lehetnek, melyek közül a kristály elektromos tulajdonságait a diszlokáció és a szennyeződés befolyásolja. Diszlokáció esetén a kristályból egy vagy több atom hiányzik, illetve az atom a szabályos rácspontok közötti térben helyezkedik el. A szennyeződés azt jelenti, hogy a kristályszerkezetbe idegen anyag atomja került.

A szennyezést valamely öt vegyértékű anyaggal (pl. arzén, bór) hajtják végre. Az arzénatom (As) a kristályrácsban a szilícium atom helyére kerül *(15. ábra).* Öt vegyértékelektronja közül négy a kristályszerkezetbe beépül, az ötödik pedig az atommal csak laza kötésben marad. Szobahőmérsékleten ez az elektron már elszakad az atommagtól, és a kristályrácsban rendezetlen hőmozgást végez. Az arzénatom az ötödik elektron elszakadásakor pozitív töltésűvé válik, de az egész kristály - az elszakadt elektron jelenléte miatt - továbbra is elektromosan semleges lesz. Az alábbi példában egy szilícium molekula látható, amelyet 5 vegyértékű arzénnal szennyeztek. A donorszennyezéssel létrejött félvezetőben a szabad elektronok vannak túlsúlyban, melyek töltése negatív. Ezért a létrejött szennyezett félvezetőt negatív, azaz „n” típusú félvezetőnek nevezik. Itt az elektron vezeti az áramot. (*http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)*

N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel:



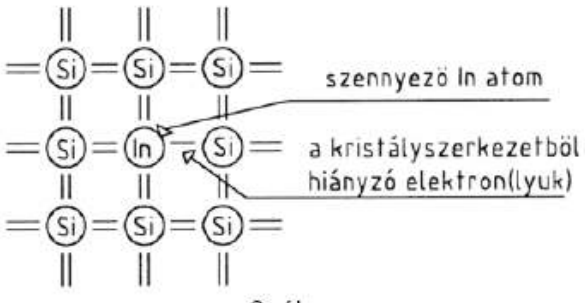
15. ábra: N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel

[19] Biotit: $K(Mg,Fe)_3O_{10}(OH)_2$, muszkovit: $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$

Csak lyukak útján vezető félvezetőt 3 vegyértékű adalékanyaggal (pl. indium, gallium) történő szennyezéssel lehet előállítani *(16. ábra)* Az indium (In) atom beépül a félvezető pl. szilícium kristályszerkezetbe, de - mivel csak három vegyértékelektronja van - a kristályszerkezetben egy vegyértékelektron hiányzik, azaz egy „lyuk” van jelen.

Előfordulhat, hogy a kristályszerkezet egy más pontjáról a hőmozgás hatására elszabaduló vegyértékelektron e lyukba „ugrik be”, rekombinálódik, és ezzel a pozitív töltésű lyuk átkerült arra a helyre, ahonnan az elszabadult vegyértékelektron távozott. A létrejött lyuk tehát ugyanúgy viselkedik (ugyanolyan töltéshordozó), mint amilyen a tiszta félvezető anyagban a hőenergia hatására létrejött lyuk. Mivel az indium akceptor átvesz egy elektront a Si atomtól, akceptor (elfogadó, felvevő) anyagnak nevezik. Az akceptor szennyezéssel létrehozott félvezetőben a töltéshordozó a pozitív töltésű lyuk, ezért „p” típusú félvezetőnek nevezik. Ebben az esetben, úgymond a lyuk vezeti az áramot.
(http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)

P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel:



16. ábra: P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel

2.5.2 Polikristályos szilícium napelemek

A kristályos szilícium alapú napelemeknél fontos szerepet játszik az ár. A hordozó egykristály húzása[20] igen drága technológia. A ***polikristályos*** alapanyag előállítása lényegesen

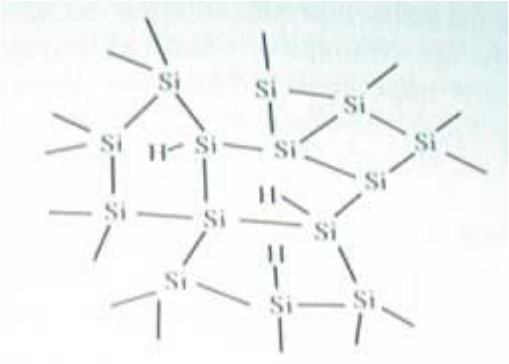
[20] Kristályhúzás: a napelem gyártás egy részfolyamata, amely során a szilícium rudat függőzónás eljárással húzzák. Ennek során az anyag tisztasága tovább nő, így a hatásfok is növelhető.

egyszerűbb, mint az egykristályos anyagé. A kristályhúzást kikerülve az elektronikai tisztaságú Si alapanyagot megömlesztve egy négyszögletes grafittégelybe öntik és szabályozott hűtés mellett kikristályosítják. A kristályosodás több gócpontból indul és így a megszilárdult anyag polikristályos lesz. A megömlesztett anyag szabályozott hűtése arra irányul, hogy a krisztallitméret[21] lehetőleg nagy és homogén, és a megszilárdult anyag lehetőleg hasábos szerkezetű legyen. Az anyag krisztallitmérete mm-től cm-es nagyságig terjed. A tégely alapterülete 30x30 cm^2, melyet később kisebb hasábokra vágnak (15x15 cm^2, 10x10 cm^2). Ebből az anyagból majdhogynem minden egykristályos szerkezet előállítható kisebb hatásfokkal, de vannak tipikusan ebből az anyagból készülő cellák is. *(Nemcsics, 2001)*

Átlagos hatékonyságuk 14% körüli. A ’90-es években, a leghatékonyabb napelemek ~16%-os teljesítményű modulok voltak, amelyek drága és költséges eljárással készültek, igen tiszta polikristályos szilíciumból. A mai legfejlettebb polikristályos napelemek hatásfoka 20% feletti is lehet laborban (speciális és optimális körülmények között vizsgálva), ipari alkalmazása esetén azonban csak alacsonyabb hatásfok állítható elő.

2.5.3 Amorf szilícium napelemek

17. ábra: Az amorf Si szabad kötéseit hidrogén köti le



Az előbbiekben tárgyalt *kristályos* szerkezetű anyagokban hosszú távú rendezettség uralkodik. Ha ez a szabályos rend az anyag egészére kiterjed, akkor egykristályos anyagról beszélünk. Ha a szabályosság az anyag egy részére terjed ki, az anyagot krisztallitok agglomerátuma alkotja, akkor az anyag polikristályos. Ha az anyagban az előbb említett

---

A Czochralsky kristályhúzást az olvasztott szilíciumból végzik (Si olvadáspontja 1421°C). Adott orientáltságú szilícium magot (átmérője 5 mm, 100-300 mm hosszú) leeresztik az olvadékba. Majd forgatják és húzzák, a végén a szilícium egykristály rudat (buga) kihúzzák és lehűtik.
(http://elektro.get.bme.hu/edu/subjects/BMEVIAUA010Z/Vetitett%20diak/4dia_per_oldal-FF/de_5_p2_Technol%C3%B3giai%20lepesek%201-2.pdfdr.)

[21] Krisztallit: mikroszkópos méretű testek, amelyek mintegy középhelyet foglalnak el a kristályok és az amorf anyag között. A vulkáni képződésű anyagokra jellemző. Nevezik mikrolitnak, a gömb alak neve globulit, a hosszúkás a longulit.

szigorú, hosszútávon érvényesülő rendezettség nem található, azaz a rendezettség csak rövidtávú, vagyis csak a nem túl távoli szomszédságra terjed ki, az anyagot ***amorf állapotú***nak *(17. ábra)* nevezzük.

Az amorf szilícium napelemek esetében a szilícium atomok kevésbé rendezetten helyezkednek el, és az atomok kevésbé kötődnek szomszédjaikhoz, mint a kristályos változatában. Ezen típusú napelemekben egy vékony p-típusú amorf szilícium réteg van legfelül, alatta egy vékonyabb, teljesen tiszta, valódi amorf szilícium réteg, majd ez alatt egy n-típusú amorf szilícium réteg. Az ilyen típusú napelemek működése a kristályos szilícium elemekéhez hasonlít, és csak a bennük lévő atomok közötti kötésekben térnek el egymástól. Az amorf szilícium napelemek előnyei közé tartozik, hogy előállítása olcsóbb (alacsonyabb hőmérsékleten történik, így ez kevesebb energiát igényel), mint a kristályos szilícium elemeké, rétegei vékonyabbak és jobban abszorbeálják a fényt. Merev vagy rugalmas keretekbe egyaránt helyezhetők.

Hátrányai közül meg kell említeni, hogy teljesítménye jóval alacsonyabb, mint a kristályos szilícium elemeké, maximum hatásfoka a laboratóriumi kísérletek alapján 8-12% közötti. A hatásfoka egy idő után csökken.
(*http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.htm)*

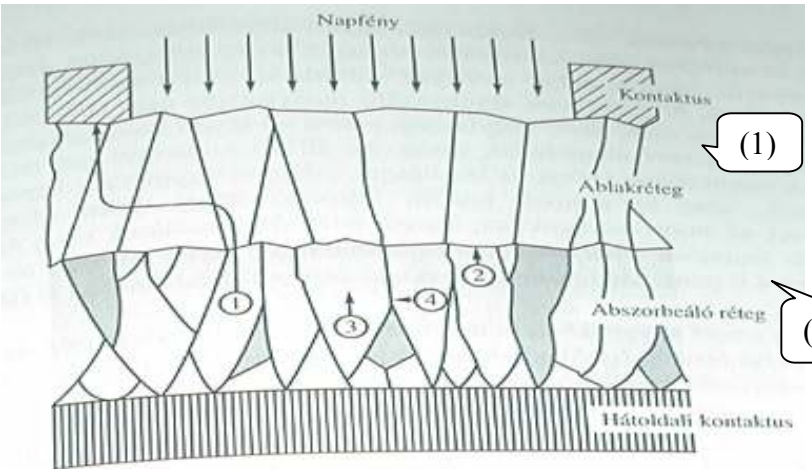
Később szó lesz még az általam vizsgált energiatermelő zsindelyekről, amelyek szintén amorf szilíciumból készülnek.

Napelemeket azonban nemcsak szilíciumból, hanem más fotoelektromos anyagokból is lehet készíteni, például réz-indium-szelenidből, kadmium-tellúridból vagy gallium-arzenidből is.

2.5.4 <u>Vékonyréteg-napelemek</u>

A $CuInSe_2$, CdTe, $CuGaSe_2$, GaAs, a napelem-készítésben leggyakrabban alkalmazott anyagok, melyekből elegendő néhány μm-es vastagság is a fény teljes abszorpciójához. Ezeknél a napelemeknél a megfelelő tiltott sáv megválasztása - melyről már korábban is szó volt - jóval nagyobb hatásfokot eredményezhet, mint a kristályos Si napelemeknél. Ezek a vékonyrétegek leválaszthatók üveg vagy fémfólia hordozóra. Előnyük az anyagtakarékosság és a lehetséges nagy modulméret. Megoldandó probléma a leválasztás homogenitása és az eszköz hosszú távú stabilitása.

A beeső fény felfogására szükség van egy ún. ablakrétegre, mivel ezek a félvezetők főleg p-típusú formában állíthatók elő. Az ablakréteg vagy ablakanyag *(18. ábra (1))* n-típusú, nagyobb tiltottsáv-szélességű és a létrehozott fotoáram felfogására szolgál. Az abszorbeáló réteg (2) As_2Se_3 típusú kalkogenid szerkezetű. *(Nemcsics, 2001)*



18. ábra: Polikristályos vékonyréteg napelem keresztmetszete

1. fotoáram
2. határfelületi rekombináció
3. tömbi rekombináció
4. rekombináció a krisztallit határon

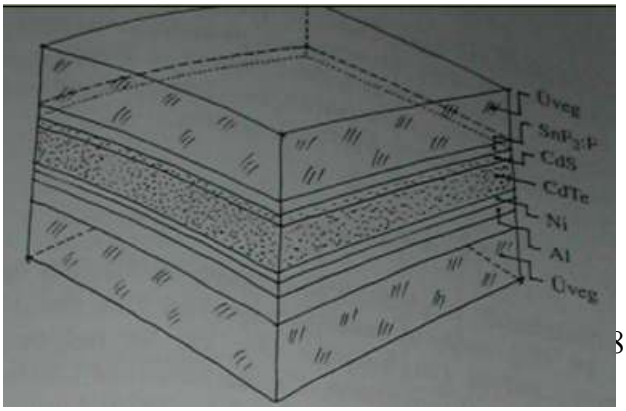
2.5.4/a Kadmium-tellurid alapú napelemek

Néhány szó a kadmiumról és a tellúrról

A *kadmium* (Cd) igen ritka elem, átlagos gyakorisága a földkéregben 0,15 g/t (0,000015%). Iparilag hasznosítható kadmium gyakorlatilag csak a cink-, ritkábban az ólom- és még ritkábban az ónércekben található. Szinte kizárólag a cinkkohászat melléktermékeként nyerik ki (szfalerit - (Zn,Fe)S). Kristályszerkezete: hexagonális, azaz szimmetriájában a hatszöges elemek az elsőrendűek. A kadmiumnak a szervezetre káros hatásai is lehetnek. Felhalmozódik a vesében, és a csontképzési folyamat enzimjeit gátolja. Csontlágyulást és nyálkahártya-károsodást okoz. Az emberi szervezetből csak 10 év alatt ürül ki.
(http://www.webelements.com/mercury/geology.html)

A *tellúr* (Te) a földkéregben ritka, főleg arany- és ezüstércekben fordul elő. Általában nem az érceiből, hanem a réz finomításakor keletkező anódiszapból nyerik ki. Kristályszerkezete szintén hexagonális.

A ***kadmium-tellúrid*** napelemek már régóta használatosak és elterjedtek. A vékonyréteg-napelemek közül gyártási volumenben az amorf szilícium után következnek. Amorf és kristályos formában is előállítható. N- és p-típusú anyag is előállítható belőle. E napelemek előnye az amorf szilíciummal szemben, hogy a degradáció nem mutatható ki benne. A CdTe hatásfoka 16%, az ipari méretekben alkalmazott celláké 10%. A kadmium tartalom miatt egészségre veszélyes lehet a technológia és a kész



19. ábra: A kadmium-tellúrid alapú napelem szerkezete

eszköz is. Egészségre ártalmas anyagok szabadulhatnak fel a gyártás során, vagy kisebb valószínűséggel, a kész eszköz esetleges felgyulladása során is. *(Nemcsics, 2001)*

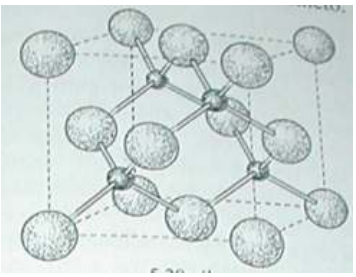
2.5.4/b Gallium-arzenid elemek

Néhány szó a galliumról és az arzénról

A *gallium* (Ga) a legnagyobb mennyiségben a germanit (Cu_2FeGaS_4) nevű ásványban fordul elő, mely 1,85% galliumot tartalmaz, de az alumínium- és cinkércekben is megtalálható, mint szennyezőanyag. Kristályszerkezete rombos, ami azt jelenti, hogy a három koordinátatengely egymásra merőleges, de különböző egységhosszúságúak. Szimmetriaelemeinek száma több mint három.

Az *arzén* (As) számos ércben előfordul, gazdaságilag hasznosítható érce az arzenopirit (FeAsS). Limoniton ($Fe_2O_3 \times nH_2O$) és piriten (FeS_2) is meg szokott kötődni és egyes ásványvizekben is megtalálható mikroelemként. Kristályszerkezete: romboéderes (rombuszokkal határolt hatlapú test). *(Szabó et al., 1987)* Az arzén a szervezetbe kerülve sejtmérgező, karcinogén, mutagén hatású.

20. ábra: Cinkblende típusú kristályrács



A vékonyréteg napelemek közül meg kell említeni a ***gallium-arzenid*** (GaAs) napelemet. Ez egy ún. vegyület-félvezető[22], számos, a szilíciuméná előnyösebb tulajdonsággal rendelkezik. Napelemek készítésére igen alkalmas magas fényabszorpciós képessége miatt. Relatív magas hőmérsékleten is működik anélkül, hogy a teljesítménye érezhetően csökkenne, ellentétben a szilíciummal és sok más félvezetővel. Alapjában véve azonban a gallium-arzenid elemek sokkal drágábbak, mint a szilícium modulok, ennek pedig az oka, hogy gyártására még nem léteznek megfelelően kiforrott technológiák, és a GaAs alapanyagai jóval ritkábbak, mint a szilícium.

A fenti ábrán *(20. ábra)* a cinkblende típusú kristályrács látható, amely erre a napelemre és a vegyület-félvezető napelemekre jellemző. Ebben a kristályrácsban a vegyület-félvezetők egymáshoz képest negyed testátlóval eltolt, különböző atomokat tartalmazó, két felületen centrált, köbös rácsból álló szerkezetben kristályosodnak. *(Nemcsics, 2001)*

A trimetil-gallium a gallium-arzenid félvezetők gyártásának egyik kulcsvegyülete. Egy új módszer segítségével fém galliumból vagy vörösiszapból kiindulva félvezető tisztaságú trimetil-gallium állítható elő. A vörösiszap az alumíniumgyártás melléktermé̂ke,

[22] Vegyület-félvezetők: lényegüket tekintve mesterséges anyagok, hiszen nagy többségük a természetben ásványként nem fordul elő. Jellemző rájuk a direkt sávszerkezet, a nagy töltéshordozó-mozgékonyság, a széles tiltott sáv, a magas működési hőmérséklet.

így világszerte óriási mennyiségben van jelen. Laboratóriumi méretekben sikerült előállítani félvezető tisztaságú trimetil-galliumot.

Becslések szerint magyar bauxitbányák rejtik a világ gallium készletének mintegy 10%-át. A gallium ezért a magyar alumíniumgyártás során keletkezett vörösiszapban viszonylag nagy koncentrációban megtalálható. A trimetil-gallium a vízhez hasonló állagú, 60°C-os forráspontú színtelen folyadék. Vízzel reakcióba lép, a levegő oxigénjével érintkezve pedig meggyullad, ezért gyártása és szállítása nem könnyű feladat.
(http://www.gic.co.hu/gaas_hu.html)

2.5.4/c <u>CIS típusú napelem</u>

Napjainkban a környezetkímélő energiaforrások piacán, ezen belül a napelemek terén hatalmas fellendülés zajlik. Ezt részben politikai tényezők (a globális felmelegedés miatt növekvő aggodalom, a riói és kiotói egyezmények) motiválják, részben pedig a rohamos műszaki fejlődés hajtja. A kristályos, illetve polikristályos szilícium alapanyag-ellátás azonban egyre inkább meghatározó szűk keresztmetszetévé válik ennek az iparágnak. Habár a szilícium a földkéreg egyik leggyakoribb eleme, a félvezető minőségű kristályos szilícium előállítása költséges és energiaigényes. Ezek a tények tették szükségszerűvé a nem szilícium alapú napelemek kifejlesztését, például a még csak laboratóriumi szinten létező réz-indium-diszelenid napelemet.

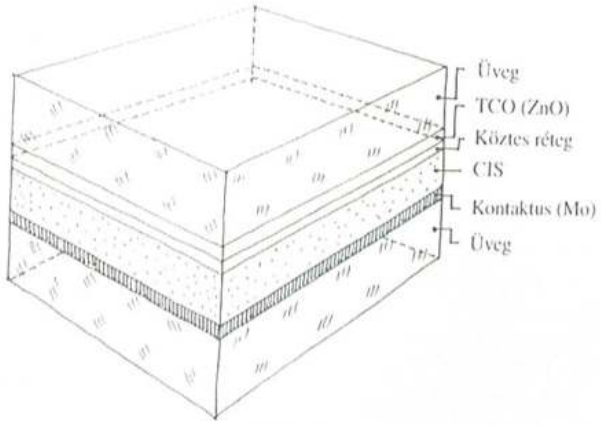
<u>Néhány szó a rézről, az indiumról és a szelénről:</u>

A *réz*nek (Cu) a természetben főként szulfidjai fordulnak elő, ezekből állítják elő a világ réztermelésének mintegy 80%-át Legfontosabb ásványa a kalkopirit ($CuFeS_2$). Kristályszerkezete köbös, lapcentrált. *(Náray-Szabó, 2006)*

Az *indium* (In) nagyon ritka elem és csak nagyon kevés indium tartalmú ásvány létezik. Kristályszerkezete tetragonális (négyzetes szerkezet, ahol a három tengely egymásra merőleges, de csak kettő azonos hosszúságú, így egy tengely kitüntetett szerepű, ez a főtengely). Megtalálható egyes cinkércekben, például a szfaleritben. Általában inkább a cinkércek kohászati maradékaiból nyerik ki. Optikai tükrök készítésére is alkalmas, mert viszonylag egyenletesen veri vissza a különböző hullámhosszú sugarakat és fontos szerepet játszik a félvezető-technikában.

A *szelén* (Se) a piritből kiinduló kénsavgyártás melléktermékeként keletkező kamraiszapból vagy a réz elektrolitos finomításakor keletkező anódiszapból állítható elő. Fotoelektromos tulajdonságú, emiatt fotocellák készítésére használható. A sötétben az áramot alig vezeti, de megvilágítás hatására vezetővé válik. Kristályszerkezete hexagonális. *(http://hu.wikipedia.org/wiki/Szel%C3%A9n)*

A ***réz-indium-diszelenid*** ($CuInSe_2$), kalkogenid típusú vegyület-félvezető, amelyet csak CIS néven emlegetnek. Az összetétel változtatásával (In helyett Ga, Se helyett S) a tilossáv-szélesség 1-2 eV között változtatható. Ezt az összetett félvezető rendszert CIGS-nek [$Cu(In,Ga)(Se,S)_2$] hívják. Napelem készítésére kiválóan alkalmas, mert beállítható a fotoeffektus számára optimális 1,4 eV-os tiltott sáv. Ipari méretekben még nem gyártják, de rendkívül ígéretes és több cég foglalkozik a kutatásával, kis sorozatok előállításával. A lenti képen *(21. ábra)* látható a CIS napelem szerkezete. *(Nemcsics, 2001)*



21. ábra: A CIS napelem szerkezete

A CIS napelemek megértéséhez ellátogattunk témavezetőmmel a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetébe (MFA), ahol nagyon sok segítséget kaptunk Lábadi Zoltántól. Beszélt a napelemekről általában (amelyet már korábban megemlítettem) és megmutatta a réz-indium-szelenid napelem gyártási folyamatát. Erről lesz szó a továbbiakban kicsit bővebben.

A CIS potenciális alapanyagként már a nyolcvanas években felmerült, napjainkban azonban kutatása és fejlesztése világszerte nagy lendületet kapott. A $CuInGaSe_2$ (CIGS) számos előnyös tulajdonsággal bír, ami miatt a napenergia termeléshez felhasználják:

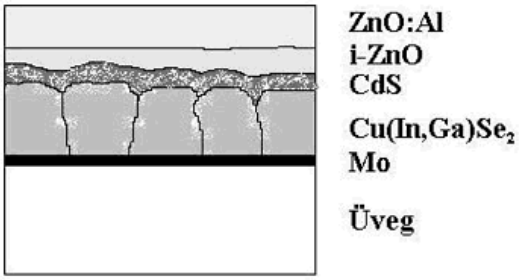
- stabil kalkopirit ($CuFeS_2$)[23] szerkezet,
- rézszegény növesztési körülmények között könnyen kialakítható benne a p-típusú vezetőképesség
- jó hatásfokú cellák készíthetők belőle (a laboratóriumi rekord jelenleg 19%, ipari méretekben pedig 11%).

[23]Kalkopirit szerkezet: tetragonális kristályrendszer

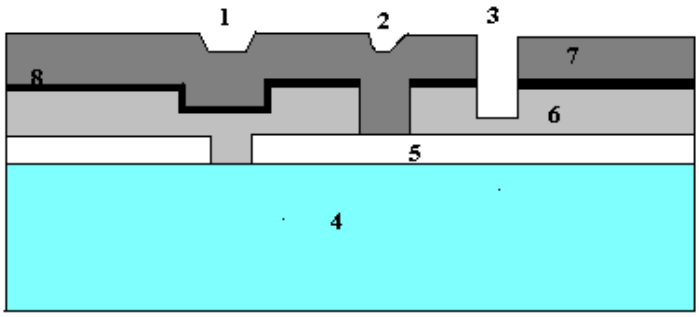
A Si alapú modulok hatásfokához viszonyítva ez ígéretes érték, és a laboratóriumi eredmények alapján még további jelentős javulás várható.

Az integrált vákuumrendszer előállítási technológiája

2007 nyarán az MTA-MFA-ban egy olyan integrált vákuumtechnikai rétegleválasztó berendezés épült meg, amely alkalmas 30x30 cm^2-es üveg szubsztrát felületén CIGS napelem szerkezet kialakítására. A rendszert az EnergoSolar Rt. tervezte és építette fel. A rétegszerkezet elvi keresztmetszeti rajza a *22. ábrán*, a CIGS szerkezete a *23. ábrán*, és a berendezés elvi elrendezési vázlata pedig a *24. ábrán* látható.



22. ábra: A $CuInGaSe_2$ napelem struktúra keresztmetszete



23. ábra: A CIGS szerkezete (saját ábra)

1, 2, 3: lézervágással vágott mélyedések

4: 200-300 µm vastag üveg, ami a rétegeket hordozza

5: 1 µm vastag alsó kontaktus molibdénből (vezető-2)

6: néhány µm-es CIGS félvezető (félvezető)

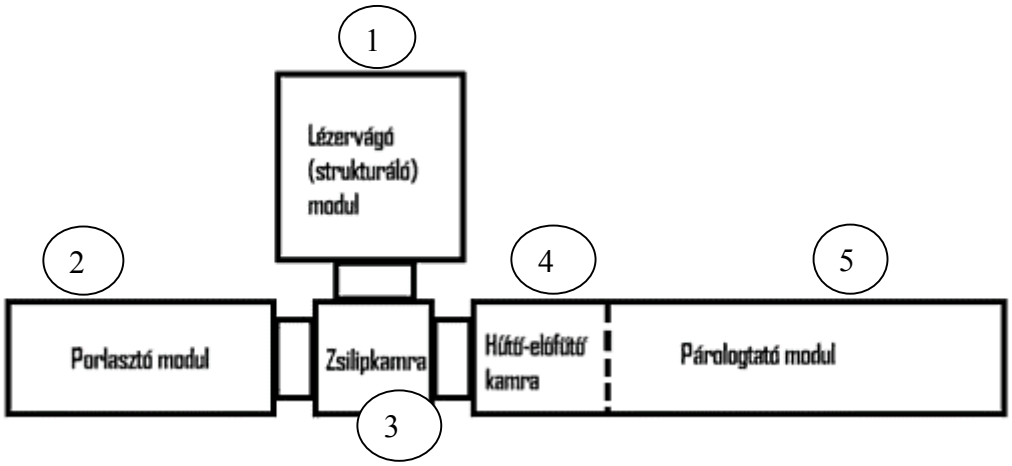
7: 1 µm-es átlátszó ZnO vezető réteg (vezető-1)

8: CdS réteg

Az eljárásról bővebben:

A fent látható napelem-szerkezet létrehozásához a CIGS félvezető réteget két kontaktus réteg között (esetünkben molibdén hátlapkontaktus és ZnO ablakrétegek közé ágyazva) kell az üveghordozó felületén leválasztani. Ehhez négy fő technológiai modulból álló integrált rendszer épült meg, az alábbiak szerint:

- A kontaktusrétegek leválasztása porlasztással, míg a CIGS réteg leválasztása párologtatással történik (lásd a továbbiakban). Ennek megfelelően a két fő rétegleválasztó egység a rendszerben a porlasztó- illetve a párologtató kamra.
- Az üveg *(23. ábra (4))* felületére leválasztott rétegekből vízszintesen rétegzett, sorba kötött cellákat kell kialakítani, ezért valamennyi leválasztott rétegben vágatokat kell kialakítani a *23. ábrá*nak megfelelően. A rétegek elválasztásához a vágások lézernyaláb segítségével készülnek, ennek megvalósítására szolgál a *24. ábrán* is látható lézervágó kamra (1).
- A negyedik technológiai egység a kamrarendszer középpontjában elhelyezkedő zsilipkamra *(24. ábra (3))*. Ez a modul egymásra merőleges irányú rendszer segítségével biztosítja a minta (az üveghordozó) továbbítását a kamrák között.



24. ábra: Az integrált vákuumrendszer elvi vázlata.

A nagyméretű nagyvákuum-kamrák mindegyike 10^{-6} mbar nyomásra szívható le olajdiffúziós szivattyúk segítségével. Az egyes kamrákat pneumatikus tolózárak szakaszolják. Az egész rendszer vezérlését számítógépes szoftver végzi.

A porlasztó kamrában *(24. ábra (2))* az átlátszó vezető kontaktus-réteg (a ZnO ablakréteg) leválasztása argon-oxigén plazma segítségével történik. A porlasztás során rákerül a molibdén *(23. ábra (5))* a felületre, majd zsilipkamrán át lézervágással belevágják az első mélyedést *(23. ábra (1))*. Ezután rápárologtatják a CIGS-et *(23. ábra (6))* és visszakerül a lézervágóba, ami a második mélyedést *(23. ábra (2))* vágja bele. Miután kijött, porlasztással rákerül az átlátszó réteg *(23. ábra (7))*. Majd ismét kijön, amikor újabb vágatot kap *(23. ábra (3))*, ami már látszik rajta. A vágásnál a gép figyel arra, hogy ne vágja át mindig az összes

réteget. Az alumínium n-típusú adalékként épül be a ZnO-ba, ami a kontaktus-réteg vezetőképességét biztosítja.

A rendszer egyik legösszetettebb és legkritikusabb részét a párologtató modulba *(24. ábra (5))* épített grafit elosztócsöves vonalforrások képezik. Ezek a források egyenként négy, megfelelően méretezett forrásból párologtatják az anyagot. A CIGS rápárologtatásánál elemi rezet, indiumot, galliumot és szelént használnak. Ezeket egyenként felülről beletöltik a párologtatóba egy grafit csövön keresztül, és a magas hőmérséklet hatására keletkező gőzt fúvókákkal nyomják le a felületre. A végleges kristályszerkezet, illetve morfológia kialakítása - megfelelően megválasztott hőkezeléssel - a hűtő-előfűtő kamrában történik *(24. ábra (4))*. A 25. ábrán a vákuumkamra-rendszer fényképe látható.

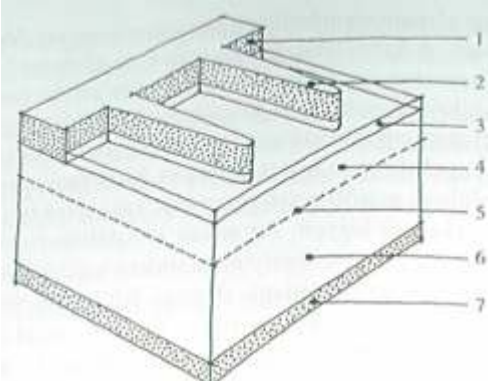
25. ábra: Az integrált vákuumrendszer, előtérben a lézervágó kamrával (http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/04_Napelem/abra_15.jpg)

2.5.5 Vastagréteg kontaktusú napelem

Az ok, amiért meg kell említeni ezt a típust az, hogy ez az egyik legelterjedtebb és elég nagy sorozatban gyártott eszköz. Gyártják pn-átmenetes, egykristályos és polikristályos struktúrában is. Az eszköz alapja egy kb. 300 µm vastag, és kb. 10x10 cm^2 vagy 15x15cm^2 felületű p-típusú hordozó. A vékonyrétegű napelemhez hasonlóan, itt is szükség van egy n-típusú rétegre (emitterréteg), amelyet itt 900°C-on állítanak elő foszfordiffúzióval.

A *26. ábrán* látható a pn-átmenetes vastagréteg kontaktusú napelem cella, melynek a szerkezete széleskörűen elterjedt.

1. gyűjtőelektróda
2. mellékelektródák
3. antireflexiós réteg
4. n-típusú réteg
5. pn-átmenet
6. p-típusú hordozó
7. hátoldali kontaktus



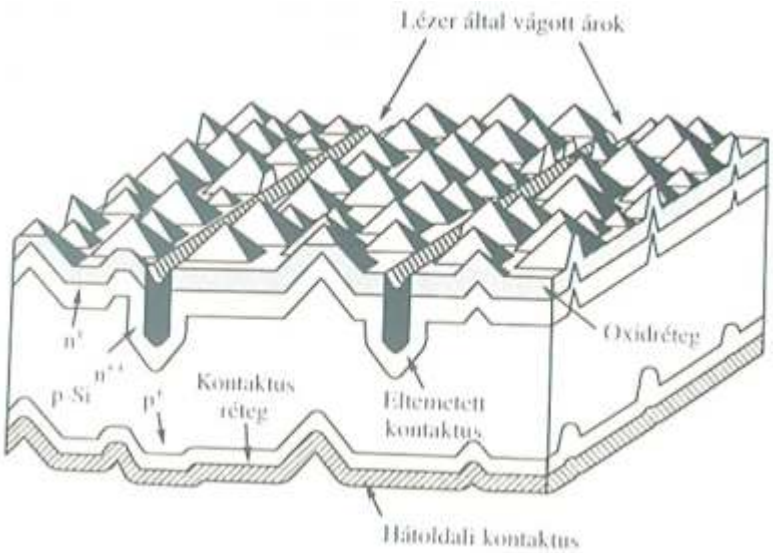
26. ábra: Vastagréteg kontaktusú napelem rétegei

Ezeket modulokba darabolják. A darabolási veszteség és a drága vágási technológia miatt vékonyabb és nagyobb méretű szeleteket próbálnak alkalmazni. *(Nemcsics, 2001)*

2.5.6 Eltemetett kontaktusrétegű napelemek

Ennek a napelem típusnak legnagyobb előnye, ami érdemessé teszi a megemlítésre, hogy egyszerű és olcsó a gyártási technológiája. Hatásfoka 16% körüli és a laborban 21%-os hatásfokot is elő tudtak állítani, így nagy lehetőség rejlik benne.

Alapanyaga főleg polikristályos szilícium, de egykristályosból is gyártottak már. Általában a homlokoldali fémezés árnyékoló hatása csökkenti a napelemek hatásfokát, de itt megoldották, hogy a fémezés függőleges legyen.



27. ábra: Eltemetett kontaktusú napelem szerkezete

A fenti ábrán *(27. ábra)* a kis piramisok véletlenszerűen beborítják az egész felületet, melyek közé az anyagba 20 μm széles és 100 μm hosszú árkot vájnak lézerrel. Ezeket fémmel

töltik ki. Így a nagy felületű kontaktusok miatt, a soros ellenállásból származó veszteség csökken. *(Nemcsics, 2001)*

2.5.7 Foto-elektrokémiai elemek

Ennek a fajtának a gyártási technológiáját a Swiss Federal Institute of Technology dolgozta ki, amely során olcsó és nagy teljesítményű elemeket állítanak elő. A svájci kutatók 10%-os teljesítményt értek el teljes napsütésben. Egy elem két vékony üveglapból áll, amelyeket vékony, átlátszó elektromosan vezető ón-oxid (SnO) réteg borít. Az első lapra felvisznek egy vékony félvezető, titánium-dioxid (TiO_2) réteget. A TiO_2 réteg felszínét érdessé teszik, hogy a fényabszorpciós képességét megnöveljék. Az érdesített felszín után közvetlenül fényérzékeny festékréteg következik. A félvezető TiO_2 réteg és a másik üveglap között vékony jód alapú elektrolit réteg van. Az abszorpció során a megfelelő hullámhosszúságú fény egy fotonja hatására a fényérzékeny réteg egy elektront juttat a TiO_2 rétegbe. Az elektronok innen az elektromosan vezető réteg aljára vándorolnak, és a külső áramkörbe jutnak.

2.5.8 Multikapcsolatos fotoelektromos elemek

A ***multikapcsolatos fotoelektromos elemek***ben kettő vagy több fotoelektromos filmet rétegeznek egymásra; minden réteg a beérkező napsugárzás más-más spektrumából köt meg energiát (lásd: energiatermelő zsindely). Ha az amorf szilíciumot szénnel kapcsoljuk össze, akkor a kapott anyag a spektrum kék fényét hasznosítja jobban. Ha azonban germániummal, a beeső fény spektrumának vége felé eső fényt, a vöröset hasznosítja jobban. A magasabb energiájú fotonok a spektrum kék, míg az alacsonyabb energiájúak a vörös színtartományba esnek.

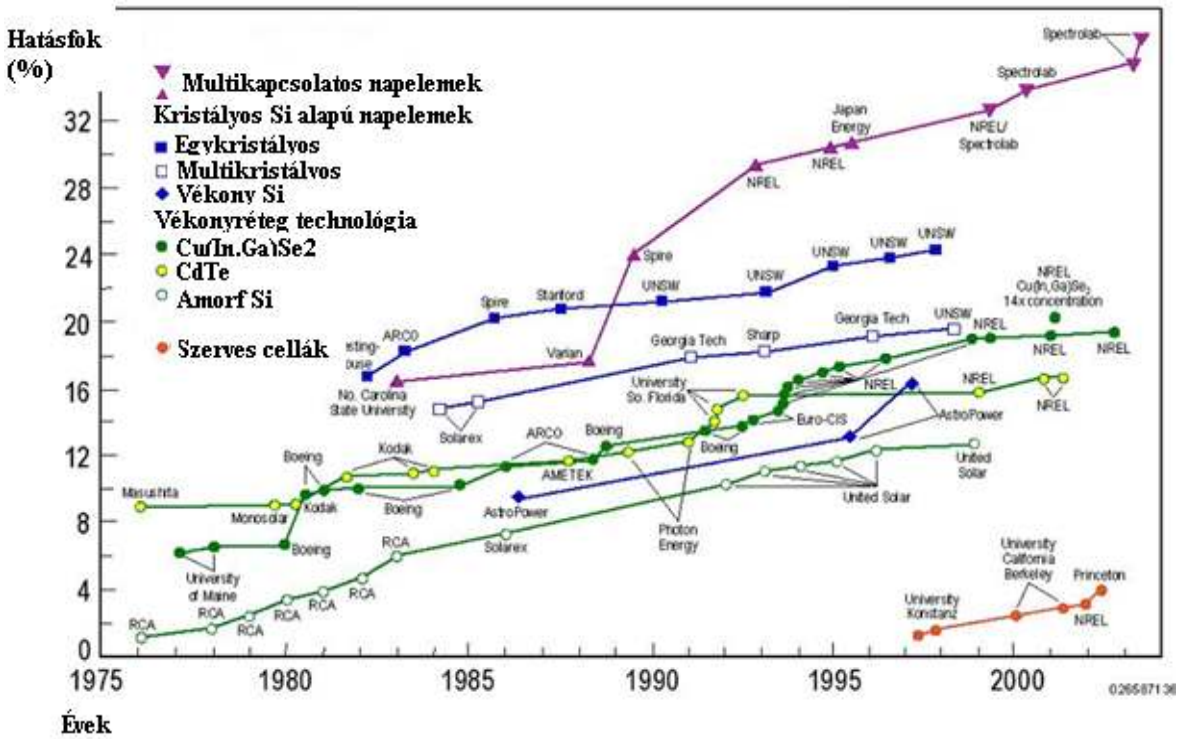
Adott számú napelem esetén úgy is növelhetjük a nyert energiamennyiséget, ha tükrökkel a napelemre koncentráljuk a sugarakat. A koncentráló rendszerek legegyszerűbb formája a napelem egész felületére azonos mennyiségű energiát koncentrál. A fluoreszkáló koncentrálók egy fluoreszcens festékkel kezelt műanyag lapból, vagy két lap közé rétegezett festékből állnak. A festék széles sávban abszorbeálja a napfényt, de az alacsony hullámhosszúságú fényt visszasugározza. A fény csak a sarkon át távozhatna, ahol azonban egy

szilícium elem abszorbeálja. A fluoreszkáló koncentrálók a direkt és a szórt sugárzást egyenlő mértékben képesek hasznosítani, azonban nem elég takarékosak az elektromos áram termelése szempontjából. *(http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.htm)*

A napelem típusok összefoglalásaként bemutatok egy ábrát, amelyen 1975 és 2003 között a különböző típusú napelemek hatásfokának fejlődése látható, olyan cégek, laboratóriumok, egyetemek megjelölésével, amelyek ezeket használják, fejlesztik.

Az *28. ábra* az amerikai Nemzeti Megújuló Energiaforrás Laboratórium (NREL) adatai alapján foglalja össze a különböző típusú napelemek kutatása során elért hatásfokjavulás időbeli trendjét. Az egyszerű kristályos szilícium cellák hatásfoka egyenletesen nőtt, míg 2000 előtt elérte a 23-24%-ot labori körülmények között. A szilícium alapú napelemek között ennek volt a legmagasabb hatásfoka, a multikristályos 4%-kal, és a vékony szilícium kristályos napelem kb. 6%-kal alacsonyabb hatásfokú. A vékonyréteg napelemek közül az amorf szilícium alapú napelemek - 2000 előtt - elérték a 12%-os hatásfokot. A CIGS napelemeket 1993-ban kezdték gyakrabban alkalmazni és ekkor megindult a fejlődésük és 18-19%-os hatásfokot értek el 2001-2003-ra; ezeket a cellákat az NRL fejlesztette. A szintén vékonyréteg napelemek közül a CdTe cellák 16%-osak. A lilával jelölt multikapcsolatos napelemek hatásfoka nagyon magas, 2003-ra elérte a 36%-ot, míg az fejlődőben lévő technológiák, mint a szerves cellák 4%-osak voltak 7 éve.

28. ábra: Különböző típusú napelemek hatásfokának fejlődése a naptári évek szerint



3. Energiatermelő zsindely

A továbbiakban dolgozatom másik fő témája következik, amely megírásához a Tegola Ungarese Kft. nyújtott segítséget. Először e napelem fontosságáról és elhelyezéséről írok, majd a felépítése és a technológiai újszerűsége következik. Végül egy mérést végeztem Balatonfüreden, ahol Magyarország eddig egyetlen Tegosolarral felszerelt háza található.

3.1 A Tegosolar

Ennek a zsindely típusnak a kifejlesztése azért volt fontos, hogy szélesebb felhasználási lehetőséget biztosítson a napelemeknek és bármilyen típusú tetőre (lapostető, íves hajlított formájú tető, magastető) fel lehessen szerelni azokat. A napelemes zsindely neve Tegosolar. Ez két cég termékeinek kombinálásával jött létre: a Tegola Canadese ***zsindely***ét ötvözték az United Solar Ovonic nevű amerikai cég ***UNI-SOLAR amorf szilícium napelemes fóliái***val.

A tetőbe nem illeszkedő, táblás napelemeknek sok hátrányuk van, például, hogy beépítésük nem mindig egyszerű a tető hajlásszöge miatt. Sok tető nem úgy van méretezve, hogy elbírja a ránehezedő plusz terhet, amit a panelek és a tartószerkezetük jelent. További hátrányt jelenthet a megnövekedett szélterhelés, a tartólábaknál a beázás veszélye, vagy az üvegfelület visszatükröződése.

A képen is látható, hogyha a rendelkezésre álló felület vízszintes síkban van, a modulokat több sorban kell elhelyezni, és elkerülhetetlen az, hogy az egyik sor leárnyékolja a mögötte levőt. Ilyenkor a sorok közötti távolságot kell optimálisan megválasztani, úgy hogy az önárnyékolás hatása az éves energiatermelésre minimális legyen.

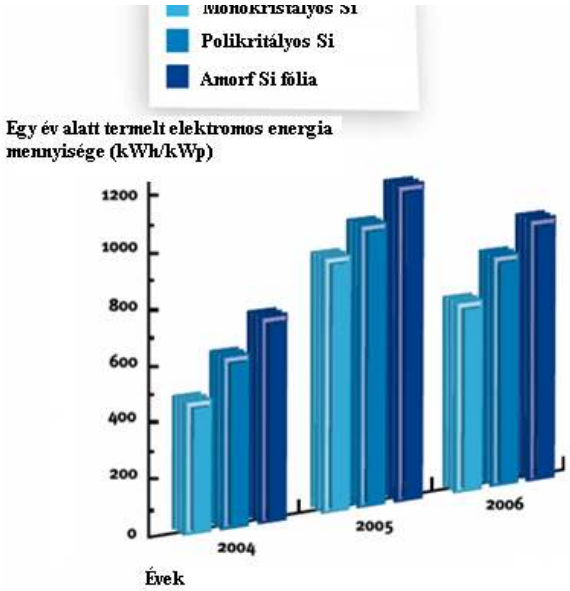
29. ábra: Önárnyékolás elkerülésére a napelemeket több sorban, megfelelő távolsággal helyezték el (Tegola Ungarese)

A hagyományos napelem-panelek készítésénél fontos cél a panel vízhatlansága és mellékes az esztétika. Az áruk magasabb lehet, mert egyedi méretre kell mindent gyártatni és a 30°-nál kisebb hajlásszögnél már csökken a hatékonyságuk.

Ami ezeknél a hagyományos konstrukcióknál hátrány - nehéz, törékeny, nem járható a felület – az az energiatermelő zsindelynél (Tegosolar) nem jelentkezik. A napelemes zsindely illeszkedik a tetőhöz, 5° és 90° között bármilyen hajlásszögű tetőre felrakható. A nem a legkedvezőbb fekvés és hajlásszög esetében is - mint például homlokzatok és lapostetők[24] - magasak az energiatermelési mutatók. Esztétikailag attraktív, a nagy méretek és a tekercses kiszerelés végett gyorsan felhelyezhető és beépíthető. Ezen kívül nincs szükség extra teherhordó szerkezetre, mert könnyű és rugalmas. Mivel nem tartalmaz üveget, ezért időjárásálló és a tető járható marad, megkönnyítve a karbantartási feladatokat. Fontos még megemlíteni, hogy nemcsak teljes megvilágításnál, hanem szórt fényben, borús vagy ködös napokon is üzemel, mivel ez a napelem a fény kék komponensét ilyenkor jobb hatásfokkal alakítja át. Magasabb hőmérsékleten nagyobb az áramtermelés és nincs szüksége hűtésre. Az optimális teljesítmény felső határa 80°C. Mellékáramköri diódák kötik össze a cellákat, hogy akkor is termeljen energiát a többi cella, ha némelyik piszkos vagy teljesen leárnyékolt. Egy tető szinte teljes felülete beépíthető; körülbelül 30%-ot kell szabadon hagyni, ami járófelületként szolgál.

Ezzel a módszerrel termelt elektromos energia mennyisége - összehasonlítva más, szilícium tartalmú napelemekkel - a következő grafikonon, ill. a táblázatban *(30-31. ábra)* látható. Mivel ez a fajta energiatermelő zsindely Magyarországon még csak egy helyen található, az adatok az olaszországi tapasztalatokat mutatják be, 2004 és 2006 között.

30. ábra: Az UNI-SOLAR és egyéb termékek használatával egy év alatt termelt elektromos energia mennyisége (Bolzano-Olaszország) (Tegola Ungarese)



[24] 3°-os lapostetők esetében a Tegosolar - megerősített bitumentartalmú szigetelő lemezbe ágyazott tekercses változatát, a General Solar PV-t használják.

Éves termelés	Helios Technológia	Schueco	UNI-SOLAR
kWh/kWp	Monokristályos Si	Polikristályos Si	Amorf Si
2004	534	657	775
2005	978	1158	1249
2006	874	1053	1137

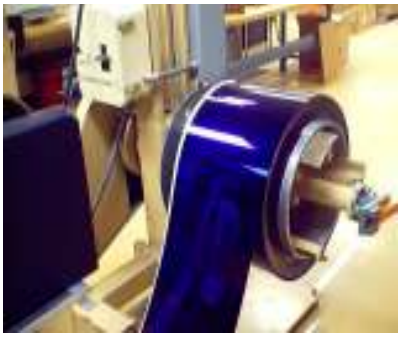
31. táblázat: Egy év alatt termelt elektromos energia mennyisége különböző típusú napelem termékek esetében

A függőleges tengelyen az egy év alatt termelt elektromos energia látható kWh/kWp-ben, a vízszintesen pedig 2004 és 2006 között két kristályos szilícium termék és az UNI-SOLAR amorf szilíciumos fóliája látható. A legtöbb energiát az amorf szilícium fólia termelte minden évben: az elsőben, 2004-ben kb. 800 kWh/év-et, a 2005-ben 1200 kWh/év-et és 2006-ban nagyjából 1100 kWh/év-et. Ezek a PV-modulok 10-20%-kal több energiát termelnek, mint a más technológiát alkalmazó rendszerek és hatásfokuk 10-14%.

A fólia esetében - de ez igaz a legtöbb napelemre - tudni kell, hogy eleinte többet termel, mint a későbbiekben fog és a teljesítménye folyamatosan csökken. De a gyártó azt ígéri, hogy a napelem 80%-os teljesítményt nyújt 25 éven keresztül.

3.2 Gyártási technológia

32. ábra: A cellák tekercsben

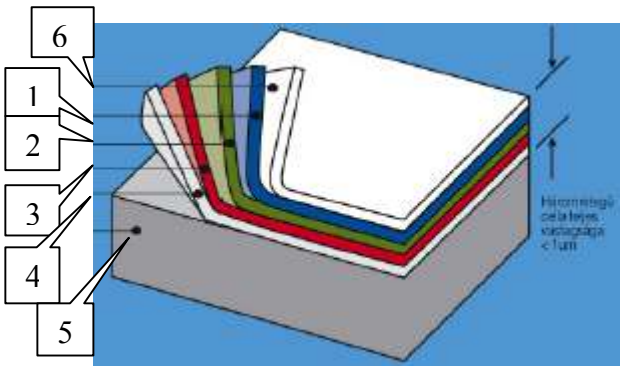


Az UNI-SOLAR cellák „roll-to-roll” rendszerben készülnek; vagyis az egyes rétegek végtelenített, rozsdamentes acélhengereken rotációs vákuum segítségével kerülnek egymásra. Ezzel az eljárással alacsonyabb hőfokon lehet a terméket előállítani, ami kevesebb áramfelhasználást jelent, így energiatakarékosabb.

Hat, egyenként 2500 m hosszú, 36 cm széles és 0,125 mm vastagságú rozsdamentes acéltekercs megy keresztül a gyártási folyamaton, négy lépésben, melyek a következők:

1. rozsdamentes acél anyag mosása
2. fényvisszaverő rétegek kialakítása (Al és ZnO) – ezüst is használható, de drágább
3. amorf szilícium ötvözet kialakítása
4. antireflexiós bevonat felvitele (ITO: indium-ón-oxid)

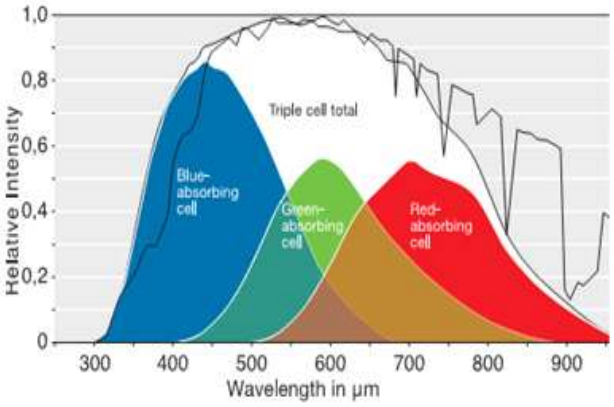
Ezután kilenc amorf szilícium réteget és amorf szilícium-germanid ötvözetet helyeznek egymásra, amelyből 3 napelem cella réteget alakítanak ki. A 3 cellának különböző a fényérzékenysége.



33. ábra: Az UNI-SOLAR cella rétegszerkezete

A napelem cella rétegei:

1. kék-cella
2. zöld-cella
3. vörös-cella
4. fényvisszaverő fémréteg
5. hajlékony, rozsdamentes acélréteg
6. átlátszó csatlakozó



34. ábra: A diódák fényérzékenysége

A napsugárzás áthalad a 3 fényérzékeny diódán: a kék dióda a kékre (300-700 µm), a zöld színű a zöldre és a sárgára (400-870 µm), a vörös pedig a spektrum vörös színére (500-950 µm) érzékeny és azt képes hasznosítani *(33. ábra)*. A kék cella a *34. ábra* szerint nagyjából 400 µm-en abszorbeálja a beérkező sugárzás 85%-át. A zöld cella a fény 50%-át hasznosítja 600 µm-en és a vörös cella szintén 50%-ot hasznosít a beérkező 700 µm-es hullámhosszúságú fényből.

A különböző anyagú felületek kialakítása után a következő lépés a napelem rétegeinek összeillesztése és a végleges fotovoltaikus panel létrehozása:

1. rozsdamentes acél tekercs felszeletelése
2. cellák elválasztása
3. elektródák bekötése
4. panelek feldarabolása
5. mellékáramkörök összekapcsolása
6. teljesítmény vizsgálat és optikai vizsgálat (AM1,5-ön)

Az egész napelem panelt UV- és időjárás álló polimer bevonattal látják el. A bevonat tartalmaz EVA-t (etil-vinil-acetát) és ETFE-t (etilén-tetrafluoroetilén, ami egy fluoropolimer - Tefzel). Az EVA polimer lágyságot és flexibilitást ad az anyagnak; ellenáll az UV sugárzásnak. Tefzel-ETFE, egy fluorokarbon alapú polimer, amelyet a DuPont cég szabadalmaztatott. Képes megvédeni a felületet a korróziótól, és széles hőmérsékleti tartománynak áll ellen -185°C és +150°C között. Az egész gyártási folyamat számítógép által vezérelt. 14,5 km hosszú napelem szalagot 72 óra alatt készítenek el.
(http://www.uni-solar.com/uploadedFiles/6DV44-146%20ver%2003.pdf)

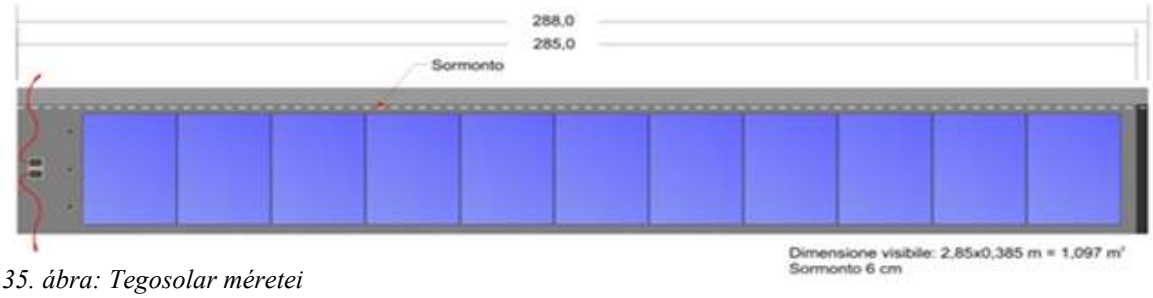
Tegosolar méretei

Az UNI-SOLAR fólia százszor vékonyabb, mint a hagyományos cellák, ami csökkenti a felhasználandó anyagmennyiséget és a költségeket is. Ezáltal kisebb az energy payback time - vagyis az az idő, ami ahhoz kell, hogy visszatermelje az előállításához felhasznált energiát - mint más hagyományos technológiáknál.

A lenti képen *(35. ábra)* egy 2,85x0,385 m-es, 11 cellás napelem panel látható, amelynek névleges teljesítménye 68 W, tömege 2,2 kg/m^2 zsindely nélkül (zsindelyre szerelve ~12 kg). Minimum 15 db Tegosolar panel szükséges 1 kWp energia előállításához.

Összehasonlítva egy normál napelem cella-konstrukcióval, amelynek teljesítménye 100-130 W/m^2 (számoljunk 115 W/m^2-rel és 1200 kWh/m^2/évvel), ~10 m^2 felület kell 1 kWp energia termeléséhez. A különbség a hagyományos napelem javára szól, de ezt ellensúlyozza az, hogy a Tegosolar szórt fényben is termel energiát.

A kábelek a tetőhéjaláson kívül, de védett helyen találhatók, réz vagy cink-titán védőburkolat alatt. Ez az elrendezés lehetővé teszi a gyors karbantartást és szükségtelenné teszi elektromos szakember jelenlétét a beszerelés alatt. Ha valamelyik panel teljesítménye nem megfelelő, azt ki lehet cserélni; ennek meghatározása történhet hőkamerás felvétel alapján.



35. ábra: Tegosolar méretei

Tegosolar ára

Egy csomag ára nettó 112 000 Ft, amely 1 panelt (nettó méret: 2,85x0,385 m, ami 1,097 m^2) tartalmaz és a felszereléshez szükséges alkatrészeket (távtartó, takaróelem, rögzítő csavarok, záró elem ragasztócsíkkal). Mivel a napelem piacra betörtek az olcsóbb, kínai gyártmányú napelemek, ezért a zsindelyes napelemek ára is fokozatosan csökken. A Kínából származó napelemekről azt mondják, hogy a névleges teljesítményüket általában nem érik el, és 20-25%-kal kevesebb energiát termelnek, mint amennyit ráírnak a gyártók.

Összehasonlításképpen egy vékony rétegű, amorf szilícium technológiájú, 60 Wp teljesítményű, 1,4x0,79 m méretű QS Solar napelem ára 27 906 Ft.
(http://napelemvasarlas.hu/product.php?tipus=QS_Solar_QS60DGU_aSi)

3.3 A napelem hatásfokának mérése

3.3.1 A körülmények bemutatása

Magyarországon jelenleg az egyetlen napelemes zsindellyel, Tegosolarral felszerelt ház Balatonfüreden található. Ez a ház már több mint egy éve épül és a fotovoltaikus zsindely már kilenc hónapja fenn van a házon.

36. ábra: Tegosolar Balatonfüreden (saját fotó)

A tulajdonosnak - a helyi önkormányzat előírása szerint - figyelembe kellett vennie az épített környezet és a tájegység műemléki védettségét, ezért választotta ezt a napelemet, amely a tető síkjába illeszkedik és nincs szükség kiemelő tartószerkezetre.

A ház tulajdonosa a napelemeken kívül napkollektort és hőszivattyút is beszereltetett. A napkollektorral a medence vizét szeretné fűteni, a napelemmel a hőszivattyút[25] működtetné. A napelemek már felhelyezésük pillanata óta termelnek áramot (az építkezés során a betonkeverő már a napelemekről

[25] Jelenleg a SANYO egyik hőszivattyúja 4,5 kW-os és 9 kW-os fűtőteljesítményben kapható. A 9 kW-os változat már egy 100 m² alapterületű családi ház fűtésére és használati meleg vízzel való ellátására is alkalmas. *(http://www.redonybolt.info/szaktanacsadas/sanyo-hoszivattyu)*

működött), de a hálózatra csatlakozás még nem történt meg. A rendszerhez csatlakoztatni lehetne akkumulátort, amellyel a megtermelt energia tárolható lenne, de itt ezt még nem tették meg.

A balatonfüredi beruházás ára állami támogatás[26] nélkül összesen 5 169 000 Ft volt. Ez magába foglalja a 44 db Tegosolar panelt (4 148 000 Ft), az invertert (540 000 Ft), a kábeleket szereléssel (60 000 Ft), a tervet az engedélyeztetéssel (30 000 Ft), egyéb kiegészítőket, mint pl. szegek (17 000 Ft), és a beépítés költségét (244 000 Ft). Beépítésének megtérülését később mutatom be.

A fenti képen *(36. ábra)* 44 db panel (3 kWp és ~48 m^2-nek felel meg) látható a tetőn, déli tájolással elhelyezve. A ház mellett álló fa (főként, ha majd nagyobbra nő) árnyékot vet a napelemes zsindely alsó felére, sőt kicsit rá is lóg, de ez inkább csak a késő délutáni órákban okozhat kisebb teljesítménycsökkenést.

Az inverterről:

A napenergia hálózatba történő táplálásához szükséges egy inverter. Ebben az esetben az ***SMA Sunny Boy^B 3000 típusú inverter***t[27] használják, amely 3 kWp-es rendszerre alkalmazható. Az, hogy az inverter mekkora maximális áramot tud fogadni, függ az aktuális bemeneti feszültségtől; legalább 200 V-nak - maximum 400 V - kell beérkeznie ahhoz, hogy működjön (ha nem érkezik be, a rendszer automatikusan lekapcsol). Az inverter fogyasztása működés alatt kb. 4 W nappal, és 0,1 W-nál kevesebb éjjel.

Az inverterből adódó átalakítási veszteség kb. 5%. Figyelembe kellene még venni a kábelek hosszából származó veszteséget, de az itt kevesebb, mint 20 m, amely még elhanyagolható. A napelemek veszteségével együtt maximum 10-14%-os veszteséggel számolhatunk.

A Tegola Ungarese kereskedelmi vezetőjével, Bodzsár Gergellyel és a Tegosolarhoz használt inverter üzembe helyezőjével, Gelencsér Ferenccel ellenőriztük a napelem működését. Az inverterről leolvasható az *üzembe helyezés óta termelt energia* (kWh), az *idő, amennyit a rendszer működött* (óra), a *pillanatnyi feszültség* (V), a *pillanatnyi teljesítmény* (W) és az *aznap megtermelt energia* (kWh). Az üzembe helyezése 2009 augusztusában történt.

Ha 44 db, 68 Wp teljesítményű napelem panel van felhelyezve a tetőre, az azt jelenti, hogy a rendszer összesen 2992 Wp-es. Ezzel a típusú napelemmel az 1100-1300

[26] Igénybe lehetne venni 30%-os állami támogatást, amellyel a beruházás költsége 3 618 000 Ft lenne.
[27] Az ELMŰ csak ezt az invertert fogadja el.

kWh/m^2/éves[28] besugárzással lehet számolni Magyarországon (a gyártó szerint a napelem ennyit képes hasznosítani), így a rendszernek névlegesen kb. 3590 kWh-t kellene termelnie egy évben. De a veszteségekkel együtt, ha ennek a 85-90%-át eléri, akkor már sikeres évről beszélhetünk (ez kb. 3100 kWh/év).

Emlékezzünk rá, hogy a gyártó azt garantálja, hogy a napelemes rendszer 25 év alatt 80%-os teljesítményt fog nyújtani. Sokban függ az adott év időjárásától is, hogy a napelem mennyi energiát termel és mennyire térül meg a befektetés. A balatonfüredi ház esetében még csak 9 hónapnyi (1800 termelési óra) működésről beszélhetünk, ami nem elegendő ahhoz, hogy pontos következtetést vonjunk le a gazdaságosságáról. A napelem hatásfokáról nincsenek információim, de azt lehet tudni, hogy az amorf szilícium alapú napelemek - mint amilyen a Tegosolar - hatásfoka 8% körüli.

A *37/a táblázat*ban a táblázatban összefoglaltam az első mérés alkalmával szerzett információkat, amelyeket az inverterről olvastunk le. Az első mérés április 28-ára esett, ekkor

37/a táblázat: Tegosolar által termelt energia 04. 28-án (saját mérés)

Mérés időpontja 2010. 04. 28.	**Eddig eltelt idő (h)**	**Aznapi termelés (kWh/nap)**	**Pillanatnyi feszültség (V)**	**Pillanatnyi teljesítmény (W)**	**Eddig termelt energia (kWh)**
12h	1667	6,20	330	1992	1060
13h	1668	6,49	320	1982	1060
14h	1669	6,92	320	1982	1061

a hőmérséklet 20°C volt. Az ég eleinte kevésbé volt felhős volt, majd egyre több felhő jelent meg rajta. Az állást óránként olvastuk le: először délben, majd 13 és 14 órakor. A leolvasott adatok szerint, az aznapi termelés átlagát nem befolyásolta nagymértékben a három óra alatt történt időjárás-változás, a pillanatnyi feszültég és a pillanatnyi teljesítmény alig csökkent. Az időjárás nem volt túl kedvező az energiatermelés szempontjából, két óra alatt 1 kWh-t termelt a rendszer.

Második alkalommal, május 7-én napsugárzás mérőt is használtam, és három órán keresztül tíz percenként jegyeztem fel az adatokat az inverterről és a napsugárzás mérőről. Ro-Line (RO-1330) típusú digitális luxmétert[29] használtam, amelynek a méréstartományát 20-20000 lux között lehet változtatni. Az erős napsugárzás miatt 20000-es skálára állítottam a mérőt.

[28] 1200 kWh/m^2/évvel számolva

[29] lux: a megvilágítás vagy fényáram mértékegysége, a fotometriában a szembe jutó fény intenzitásának mérésére használják. *(http://en.wikipedia.org/wiki/Lux)*

Az időjárás kedvezőbb volt, mint az első mérés alkalmával; a hőmérséklet 22°C volt, az ég elég felhős volt, de a napelemek több energiát termeltek, mint először. Az adatokat a *37/b táblázat* mutatja, amelyben látható, hogy a három óra elteltével a rendszer 3 kWh-t termelt. A pillanatnyi feszültség 320-354 V között ingadozott. A pillanatnyi besugárzást luxban mértem, és átváltottam W/m^2-re, így 1 lux=1/683=0,00146 W/m^2 (555 nm-en) közelítéssel éltem. (*http://www.unitconversion.org/unit_converter/illumination.html)*

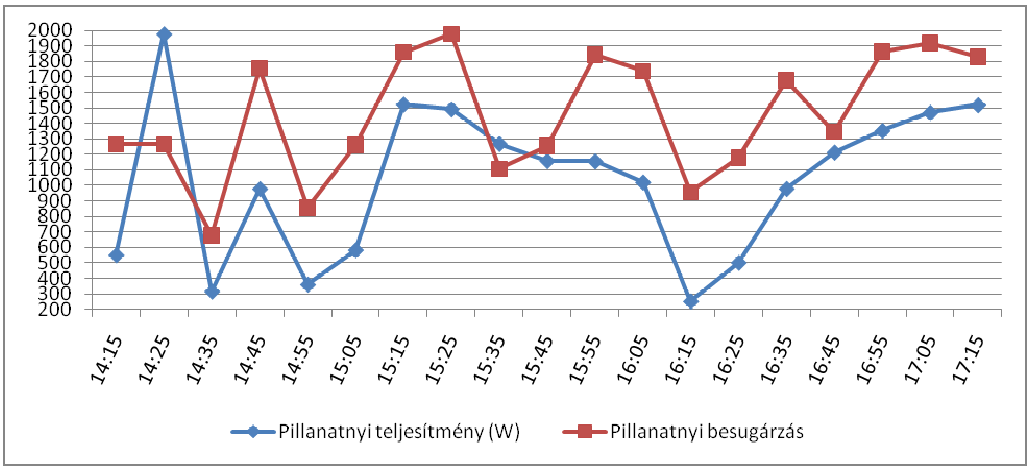
37/b táblázat: Tegosolar által termelt energia 05. 07-én (saját mérés)

Mérés időpontja 2010. 05. 07.	**Eddig eltelt idő (h)**	**Aznapi termelés (kWh)**	**Pillanatnyi feszültség (V)**	**Pillanatnyi teljesítmény (W)**	**Eddig termelt energia (kWh)**	**Pillanatnyi napsugárzás (mért) (x·10 lux) (tartomány: 20-20000)**	**Pillanatnyi napsugárzás (számított) (W/m^2) (1 lux=0,00146 W/m^2)**
14^{15}	1800	10,18	350	549	1192	1269	18,58
14^{25}	1800	10,34	348	1269	1192	1265	18,52
14^{35}	1800	10,46	320	314	1192	676	9,90
14^{45}	1800	10,59	331	977	1193	1757	25,72
14^{55}	1800	10,77	326	359	1193	854	12,50
15^{05}	1801	10,84	342	582	1193	1261	18,46
15^{15}	1801	11,09	354	1524	1193	1860	27,23
15^{25}	1801	11,29	343	1493	1193	1978	28,96
15^{35}	1801	11,50	348	1269	1194	1107	16,20
15^{45}	1801	11,59	353	1158	1194	1253	18,34
15^{55}	1801	11,72	352	1155	1194	1843	26,98
16^{05}	1802	11,85	348	1020	1194	1738	25,44
16^{15}	1802	11,92	328	250	1194	955	13,90
16^{25}	1802	12,02	330	500	1194	1178	17,24
16^{35}	1802	12,16	335	978	1194	1677	24,55
16^{45}	1802	12,31	340	1213	1194	1345	19,69
16^{55}	1802	12,39	342	1353	1194	1863	27,27
17^{05}	1803	12,56	351	1470	1195	1920	28,11
17^{15}	1803	12,64	349	1520	1195	1831	26,80

A napsugárzás erőssége a felhővándorlástól függően változott. Amikor nagyon vastag felhő takarta el a Napot, akkor a pillanatnyi besugárzás értéke kicsi volt, és a napelem pillanatnyi teljesítménye is, valamint a feszültsége is nagyon alacsony volt. Viszont amikor vékonyabb volt a felhőtakaró, és a besugárzás nagyon magasra ugrott, akkor a pillanatnyi teljesítmény is magasabb volt.

Hogy a napelem által felhasznált pillanatnyi teljesítmény (W) és a mért pillanatnyi besugárzás (lux) közti összefüggést láthassuk, ábrázoltam egy diagramon a besugárzás értékeit - lux mértékegységben - az eltelt idő függvényében. Ezt a *37/c ábra* mutatja.

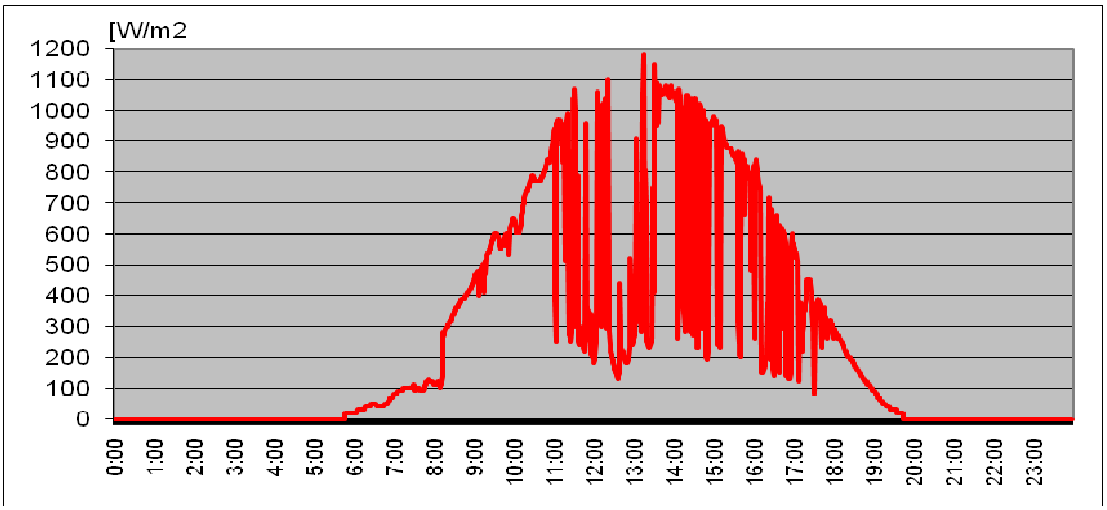
37/c ábra: A pillanatnyi napsugárzás és a teljesítmény három órán át tíz perces mérésekkel (saját ábra)



Látható, hogy a görbék nagyjából együtt mozognak: ahogy változik a besugárzás, úgy változik a napelemek teljesítménye. Ahol nem követi egymást a két trend (pl. 15:35 és 16:45-kor), az magyarázható a gyors felhővándorlással, a felhőárnyékkal, vagy a fa vetett árnyékot a napelemekre, de a két görbe nagyjából korrelál egymással. Számításaim szerint a korreláció 66%-os.

A *37/b táblázat* adatait megfigyelve láthatjuk, hogy a napsugárzás túl erős volt a luxmérő legnagyobb méréstartományához is. A műszer ismert tulajdonsága korábbi tapasztalatok alapján, hogy a méréshatárhoz közeledve nem mutat pontos értékeket. Így a táblázatban szereplő adatok nem lehetnek pontosak. Ha a pl. pillanatnyi teljesítmény 549 W volt és a besugárzás 18,58 W/m^2 (549/48=11,43), akkor 48 m^2-es tetőterület esetében majdnem 61%-os hatásfokkal működnének a napelemek, ami irreális. A május elején szokásos napsugárzás adatok sem a 20 W/m^2-es tartományba szoktak esni. Ezt a www.naplopo.hu weblap adatai alapján ellenőriztem a 2007-es, 2008-as évekre. Az adatok pontosítására a naplopo.hu *2010. május 7-i napsugárzás* adatait használtam fel, melynek ábrája *(37/d ábra)* lent látható. Ezek a mérési adatok Budapest területére vonatkoznak, de a földrajzilag kb. 150 km-re eső Balatonfüred esetében szintén megfelelnek, és a füredi ház tájolása, valamint a tetejének dőlésszöge megegyezik a mérőberendezés dőlésszögével.

37/d ábra: A naplopo.hu ábrája a május 7-i napsugárzásról



A Naplopó Kft. a napsugárzást déli tájolású és 45°-os dőlésszögű felületen méri, egy szellőztetett piranométerrel. A készülék pontossága 2%-on belüli. A piranométer a globális (teljes) napsugárzást méri. A mért adatokat egy adatgyűjtő dolgozza fel és továbbítja egy PC számára, amelyen az adattárolás is történik. *(http://www.naplopo.hu/napsug.html)*

A diagram szerint az aznapi napsugárzás ingadozó volt, a felhővándorlásnak köszönhetően. A Nap aznap 6 óra előtt kelt fel és este 20 óra előtt nyugodott le. A mérést $14^{\underline{15}}$ és $17^{\underline{15}}$ között végeztem, és a diagramon látszik, hogy ezen időszak alatt min. 130 W/m^2 és max. 1050 W/m^2 közötti volt a besugárzás. Az táblázatban *(37/e táblázat)* a tíz percenként mért adatokat összevetettem a Naplopó Kft. adataival, majd megjelenítettem azt, hogy a bejövő napsugárzás hány százalékát használta a napelem energiatermelésre. Ezeket az értékeket átlagoltam, és *4,7%-os hatásfok*ot állapítottam meg.

A besugárzási adatokból szintén átlagot számoltam, így 606 W/m^2-t kaptam. Majd megnéztem, hogy ennek hány százaléka volt a napelem pillanatnyi teljesítménye 48 m^2-es felületen, vagyis mennyi volt a napelem hatásfoka. Az eredményül kapott hatásfokok átlagát vettem, így *3,1%*-ot kaptam. Ennyit hasznosított a Tegosolar rendszer. Ez az érték alacsonynak tűnhet, de egy amorf szilícium rendszer maximum 8% hatásfokkal rendelkezik, és mérőműszer dőlésszögétől már kisebb dőlésszögbeli eltérés esetén is változhat a hatásfok, ezért ez elfogadható eredmény. A kapott 4,7%-os és 3,1%-os hatásfokok számtani közepével számolva a rendszer teljesítménye kevesebb lesz az elvártnál, vagyis 4%-os hatásfok esetén az éves áramtermelés - ~3100 kWh helyett - 2304 kWh lesz (lásd: *38/b táblázat*)

37/e táblázat: A Tegosolar napelem hatásfoka a naplopo.hu adatai alapján (saját kalkuláció)

Mérés ideje (h)	**Pillanatnyi teljesítmény (W)**	**Pillanatnyi teljesítmény 48 m^2-es felületen (W/m^2)**	**Május 7-i naplopo.hu besugárzási adatok (W/m^2)**	**14-17 óra között, 10 percenként mért besugárzással számolt hatásfok (%)**	**14-17 óra közötti besugárzás át1agával (606 W/m^2) számolt hatásfok (%)**
14^{15}	549	11,44	380	3,0	1,9
14^{25}	1269	26,44	360	7,3	4,3
14^{35}	314	6,54	260	2,5	1,1
14^{45}	977	20,35	1000	2,0	3,3
14^{55}	359	7,47	960	0,7	1,2
15^{05}	582	12,93	970	1,3	2,1
15^{15}	1524	31,75	930	3,4	0,6
15^{25}	1493	31,1	880	3,5	5,1
15^{35}	1269	26,43	850	3,1	4,3
15^{45}	1158	24,1	830	2,9	3,9
15^{55}	1155	24,0	790	3,0	3,9
16^{05}	1020	21,25	830	2,5	3,5
16^{15}	250	5,21	150	3,5	0,1
16^{25}	500	10,41	190	5,5	1,7
16^{35}	978	20,37	660	3,1	3,3
16^{45}	1213	25,27	610	4,1	4,1
16^{55}	1353	28,19	130	21,7	4,6
17^{05}	1470	30,62	540	5,7	5,0
17^{15}	1520	31,66	280	11,3	5,2

Az előző mérés óta eltelt 133 óra működési idő alatt a napelemes rendszer 135 kWh-t termelt (1060-ról 1195 kWh-ra nőtt a megtermelt energia mennyisége). A teljes idő alatt, mióta a napelemeket felállították - 1800 óra - 1195 kWh energiát termelt a rendszer, ami az elvárt 3100 kWh harmada. Ez betudható az első évnek, a kevés napsütéses órának, a hosszan elhúzódó téli időjárásnak, a sok hónak. Az is lehet, hogy a napelemek időszakosan nem működtek, (pl. azért, mert az építkezés miatti sérülések elkerülése végett letakarták azokat). Láthattuk, hogy nagyban befolyásolja a rendszer működését az időjárás és a napsütéses, felhőtlen napok száma. A nyár közeledtével egyre több derült napra lehet majd számítani, így a termelés meg fog ugrani, és remélhetőleg megtermeli majd az elvárt energiamennyiséget, mire letelik az első év.

Egyéb következtetést további mérésekkel és a nyár eltelte után hozhatunk, amikor kiderülhet a tényleges energiatermelés egy év után. Előreláthatólag, a nyári időszakban sokat fog termelni a rendszer, és ha nem is éri el a ~3100 kWh/évet, de megközelíti majd azt az értéket.

3.3.2 Megtérülés

Az általam vizsgált 3 kWp-es (~3600 kWh teljesítményű) Tegosolar rendszer beépítésének összes bruttó költsége ~5 169 000 Ft volt, melynek megtérülési számítása látható a táblázatban *(38/a táblázat)*.

38/a táblázat: Tegosolar rendszer beépítésének megtérülési számítása a névleges teljesítmény alapján

Év	Éves áram-termelés (névleges) (kWh)	Áram egységár (Ft) (7%-os éves áramnövekedéssel)	Éves hozam (Ft)	Összes hozam (Ft)	Maradvány érték (Ft)
1	3 600	47,19	169 884	169 884	4 998 866
2	3 568	50,49	180 140	350 024	4 818 726
3	3 535	54,03	191 015	541 039	4 627 711
4	3 504	57,81	202 547	743 585	4 425 165
5	3 472	61,86	214 774	958 360	4 210 390
6	3 441	66,19	227 740	1 186 100	3 982 650
7	3 410	70,82	241 489	1 427 589	3 741 161
8	3 379	75,78	256 068	1 683 656	3 485 094
9	3 349	81,08	271 526	1 955 182	3 213 568
10	3 319	86,76	287 918	2 243 101	2 925 649
11	3 289	92,83	305 300	2 548 401	2 620 349
12	3 259	99,33	323 731	2 872 132	2 296 618
13	3 230	106,28	343 275	3 215 406	1 953 344
14	3 201	113,72	363 998	3 579 404	1 589 346
15	3 172	121,68	385 973	3 965 377	1 203 373
16	3 143	130,20	409 274	4 374 651	794 099
17	3 115	139,31	433 982	4 808 633	360 117
18	3 087	149,06	460 181	5 268 814	-100 064
19	3 059	159,50	487 962	5 756 776	-588 026
20	3 032	170,66	517 421	6 274 197	-1 105 447
21	3 005	182,61	548 657	6 822 854	-1 654 104
22	2 977	195,39	581 780	7 404 634	-2 235 884
23	2 951	209,07	616 902	8 021 535	-2 852 785
24	2 924	223,71	654 144	8 675 679	-3 506 929
25	2 898	239,36	693 635	9 369 314	-4 200 564

A számítás:

1. sor: Az éves áramtermelést a napelem névleges teljesítményével adtam meg: ~3600 kWh; szorozva az áram egységárával, 7%-os éves áramnövekedés mellett, megkapjuk az éves hozamot - amennyit a napelem már megtermelt: 3600x47,19=169 884 Ft.

Levonva a bruttó beruházási költségből, marad 4 998 866 Ft az első év után, amit még vissza kell termelnie a napelemnek.

2. sor: Az éves termelés kevesebb, mint az első évben 0,09%-kal, mert 25 év alatt lecsökken a napelem termelőkapacitása az eredeti kapacitás 80%-ára.

A táblázatban pedig az összes hozam azt jelenti, hogy első év hozamát összeadtam a második évével: 169 884+180 140=350 024 Ft.

A számítás 47,19 Ft-os átlagos áramár mellett történt. Ez azt jelenti, hogy az ELMŰ 1320 kWh-ig 46,11 Ft-tal, ezen felül 47,85 Ft-tal számolja el az áramot. A táblázatban használt 47,19 forintos ár a két ár súlyozott átlagából jön ki. A táblázatban látható, hogy a 17. évben a rendszer 3115 kW-ot termel, és ekkorra termeli meg az eredeti beruházás költségének majdnem 100%-át. 3 kWp-es Tegosolar rendszer beruházása 17,8 év alatt megtérül és utána a következő 7,2 évben még további 4,3 millió forintot termel majd, tehát a beruházott összeg közel 80%-át.

38/b táblázat: Tegosolar rendszer beépítésének megtérülési számítása 4%-os hatásfok alapján

Év	Éves áramtermelés 1200 kWh/m^2/éves besugárzás alapján (kWh)	Áram egységár (Ft) (7%-os éves áramnövekedéssel)	Éves hozam (Ft)	Összes hozam (Ft)	Maradvány érték (Ft)
1	2 304	47,19	108 726	108 726	5 060 274
2	2 283	50,49	115 282	224 008	4 944 992
3	2 263	54,03	122 254	346 262	4 822 738
4	2 242	57,81	129 630	475 892	4 693 108
5	2 222	61,86	137 463	613 356	4 555 644
6	2 202	66,19	145 762	759 117	4 409 883
7	2 182	70,82	154 554	913 671	4 255 329
8	2 163	75,78	163 890	1 077 562	4 091 438
9	2 143	81,08	173 774	1 251 336	3 917 664
10	2 124	86,76	184 274	1 435 610	3 733 390
11	2 105	92,83	195 392	1 631 002	3 537 998
12	2 086	99,33	207 192	1 838 195	3 330 805
13	2 067	106,28	219 694	2 057 888	3 111 112
14	2 049	113,72	232 958	2 290 846	2 878 154
15	2 030	121,68	247 020	2 537 866	2 631 134
16	2 012	130,20	261 938	2 799 804	2 369 196
17	1 994	139,31	277 743	3 077 547	2 091 453
18	1 976	149,06	294 507	3 372 054	1 796 946
19	1 958	159,50	312 298	3 684 352	1 484 648
20	1 940	170,66	331 142	4 015 494	1 153 506
21	1 923	182,61	351 140	4 366 634	802 366
22	1 906	195,39	372 333	4 738 967	430 033
23	1 888	209,07	394 816	5 133 782	35 218
24	1 871	223,71	418 660	5 552 443	-383 443
25	1 855	239,36	443 917	5 996 360	-827 360

A fenti táblázat *(38/b táblázat)* a *38/a táblázat* számítási módszere alapján készült, de a kiinduló névleges teljesítmény helyett a napelem 4%-os hatásfokával számoltam. Eszerint a Tegosolar rendszer beruházása 23 év alatt térül meg, és utána a következő 2 évben még kb. 800 000 forintot fog termelni, tehát a beruházott összeg közel 16%-át. A napelemes rendszerre a gyártó 25 év garanciát ad, és a beruházott összeg ennyi idő alatt - akár a névleges teljesítmény, akár a 4%-os hatásfok alapján történt számítás szerint - meg is térül. (A számításnál feltételeztük, hogy a megtermelt áram a háztartásban teljes egészében felhasználásra kerül.)

A bemutatott energiatermelő zsindely csak egy, a számtalan lehetőség közül, amelyet felhasználhatunk az energiafelhasználásunk csökkentésére, a környezetkímélőbb életmód megteremtésére. Láthattuk, hogy a beruházás sajnos igen drága, viszont a megtérülés évek alatt, de garantált. Alkalmazhatunk olcsóbb rendszereket vagy egyéb, környezetkímélő megoldásokat, a lényeg, hogy éljünk a lehetőségekkel, hogy megvédjük környezetünket.

4. Életciklus-elemzés

Ahhoz, hogy egy terméket objektíven tudjunk bemutatni, elengedhetetlen az adott termék életciklus-elemzése. De mielőtt belekezdenék az elemzés bemutatásába, meg kell határoznunk, mit is nevezünk *életciklus*nak: a termékrendszer összekapcsolt lépései, a nyersanyag bányászattól, vagy a természeti erőforrások előállításától a végső hulladék elhelyezéséig. Ennek elemzése fontos a napelemek esetében is, hogy megtudjuk, mennyire tekinthetjük a terméket környezetbarátnak, mennyire szükséges más energiatermelő alternatívák után néznünk.

Életciklus [MSZ ISO 14040, 1997]: „Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyagbeszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig."

Életciklus-elemzés [MSZ ISO 14040, 1997]: „Egy termék hatásrendszeréhez tartózó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során." *(Tamaska & Rédey, 2001)*

Tehát az elemzési módszer, amely során megpróbáljuk számszerűsíteni, de legalábbis megbecsülni, hogy egy termék előállítása során, annak elosztásán, felhasználásán át a hulladékként való lerakásáig milyen környezeti terhekkel jár, beleértve az energiakiadásokat

is. A *Green Capital Kutatási jelentésé*nek összefoglalójából kiemelnék egy modellt, amely bemutatja egy napelem életciklusát a hozzá tartozó kerettel és tartóval együtt.

Az elemzés során két módszerrel vizsgálják a napelemeket. Az elemzések az EcoIndicator '99[30] és a CML 2001[31] módszerek szerint készültek el. Az elemzés kezdetén ki kell kötni egy ún. funkcióegységet, amely egy termékrendszer mennyiségi megjelenése, és referencia egységként szolgál a tanulmányban. Ennél a vizsgálatnál ez az egység 1 MJ kiadott elektromos áram. Tehát az elemzés indikátorértékei erre az egységre vonatkoznak majd.

4.1 Az elemzés lépései

4.1.1 Rendszerhatárok

Az életciklus elemzés pontosan megfogalmazza az adott rendszer határait. A rendszerhatárokat különböző tényezők határozzák meg, pl. a tanulmányt mire akarjuk használni, mik a feltételezések, a kritériumok a tanulmánnyal és a vizsgálat tárgyával kapcsolatban, vagy milyen adat- és költségkorlátok léteznek, és ki a célközönség. A rendszerhatárok meghatározása szubjektív művelet, amit mindig az elérendő célok függvényében kell felrajzolni.

A napelem esetében használt modell szerint a következő feltételezésekből indulnak ki: Magyarországon 1900-2000 órát süt a Nap évente, és 90°-os beesési szög esetében ~1250 kWh/m^2/év energiával lehet számolni. A napelem 20 modulból áll, élettartama kb. 30 év, 21,5 m^2 felületű, egy modul teljesítménye 350 Wp, ami 30 év alatt 0,26 GWh elektromos áramot állít elő. A modell tartalmazza a napelem gyártást kerettel és tartóval együtt. A modell építéséhez 20 darab monokristályos szilícium, valamint acél, alumínium és réz modult használtak.

---

[30] EI'99*:* hatásvizsgálati módszer; Eco-indicator '95 módszer, amely a környezeti hatásokat veszi figyelembe és kapcsolja össze az emberi egészségben és az ökoszisztéma állapotában bekövetkező károsodásokkal. Az Eco-indicator '95 egy elsősorban terméktervezésre kifejlesztett LCA súlyozási módszer, mely a céltól való távolság elvén alapul. A módszer folyamatos fejlesztés alatt áll, így az 1999 végén megjelent változat az Eco-indicator '99, amely az emberi egészségre és az ökoszisztéma minőségére gyakorolt környezeti károk mellett figyelembe veszi az erőforrások kimerülését is, mint környezeti kárt. Ez egy új, károrientált LCA hatásbecslési módszer, amely 200-nál több anyagra és folyamatra ad kész ökoindikátor-értéket. *(Tamaska & Rédey)*

[31] A CML módszer: hatásvizsgálati módszer, amelyet 1992-ben fejlesztették ki a Leideni Egyetem Környezettudományi Központjában. A CML a leltár analízisének eredményeit összegzi különböző hatáskategóriákban. A környezeti hatásokat több hatáskategóriára osztották fel. Az így keletkező környezeti mutatók egy mutatóvá olvaszthatók, ami meghatározza a vizsgált termék, vagy folyamat környezeti profilját. *(www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf)*

A modell egész felépítése tulajdonképpen a homokból mint alapanyagból indul ki, majd ezt követi az elektronikai tisztaságú szilíciumon keresztül a monokristály előállítás, és végül az energiatermelés.

Si-modul felépítése:

- Si-cella – kvarchomokból (SiO_2)
- Al-öntvény
- szén
- üveg
- EVA (etil-vinil-acetát)
- polifenil-oxid
- hátfólia
- víz
- metanol

↓

Monokristályos fotovoltaikus napelem - keret a tartóval:

- szén
- Al-öntvény
- préselt acél
- Si-modul

↓

Elektromosság – napenergia

4.1.2 A leltár

Ebben a szakaszban az input és output adatok minőségi analízisét végzik el, adatgyűjtési és számítási eljárások segítségével. Ezen túl a leltár fázis tartalmazza a vízi és légköri emissziók, a szilárd hulladékok és más környezeti kibocsátások meghatározását a termék, folyamat vagy szolgáltatás életciklusa során. Ezek az adatok magukba foglalják az erőforrások kiaknázását (input), levegőbe, vízbe, talajba való kibocsátásokat (output). Az értelmezések ezen adatok alapján történnek, a cél és hatásterület függvényében. A leltárelemzés ismétlődő folyamat. Minőségi és mennyiségi adatokat kell gyűjteni a rendszerhatáron belüli összes folyamat egységre. Az adatgyűjtés eredményét az életciklus-leltár táblázat formájában foglalja össze.

A leltár, vagy más néven LCI (Life Cycle Inventory) az adott folyamat I/O (input-output) adatait tartalmazza. Az adatokat csökkenő sorrendbe rendezték és tartalmazzák az összes, 1 MJ napenergia (elektromos energia) megtermeléséhez szükséges be- és kimenő áramot. Inputok közé tartoznak a segédanyagok, melyek a gyártáshoz szükségesek; outputok közé sorolják - mint hasznos áramok - a megtermelt elektromos áramot. Hulladékáram a napelem esetében nem jelentős, szinte csak a napelem számít majd annak, ha elhasználódott és kidobásra vagy újrahasználásra kerül (erről később még szó lesz „A napelemek újrahasznosítása" c. fejezetben).

A napenergia-termelés folyamatának *leltár táblázata*[C] a Függelékben látható. A táblázat bal oldalán az inputok, jobb oldalán az outputok vannak. Inputnak számít például a gyártáshoz használt víz mennyisége, vagy az egyes napelem fajták alapanyagai - kvarchomok, bauxit, cink, réz, stb. Output a gyártási folyamat során elhasznált víz, keletkezett hőmennyiség, nemesgázok.

4.1.3 Az elemzés eredményei - hatásértékelés

A hatásértékelés az életciklus-elemzés azon szakasza, amelynek célja annak kiderítése és értékelése, hogy mekkora a mértéke és a jelentősége a vizsgált rendszer *környezeti hatás*ának. Az életciklus-elemzés hatásértékelő folyamata során a leltárban meghatározott környezeti terhelések hatását számszerűsítjük. Az értékelés a kapott leltáradatok hatáskategóriához rendelésével, osztályozásával és jellemzésével valósítható meg. Ennek eredményeképp minden környezeti kategória esetén egy számmal tudjuk kifejezni a vizsgált életciklus hatását. A környezeti hatásokat a *CML 2001 módszer* szerint - amely egyike a számos rendelkezésre álló módszernek - jelenleg az alábbi kategóriákba sorolják (definíciót lásd: *Függelékben, D*):

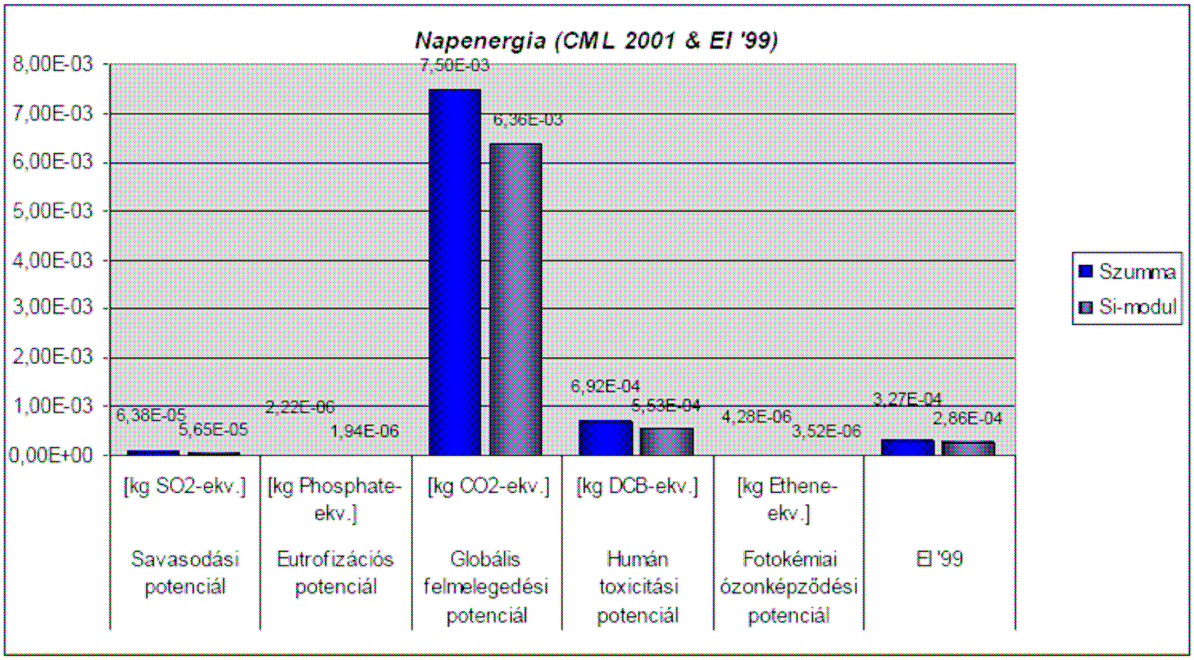
39. táblázat: Környezeti hatáskategóriák

Hatáskategóriák	Referencia
Globális felmelegedésre gyakorolt hatások	kg CO_2 - ekvivalens
Savasodási Potenciál	kg SO_2 - ekvivalens
Eutrofizációs Potenciál	kg Foszfát - ekvivalens
Humán Toxicitási Potenciál	kg DCB - ekvivalens
Fotokémiai Ózonképződési Potenciál	kg Etilén - ekvivalens
Ózonréteg vékonyodás	kg CFC11 - ekvivalens
Erőforrások csökkenése	kg Sb - ekvivalens
Földi ökotoxicitás	kg DCB - ekvivalens
Tengervízi ökotoxicitás	kg DCB - ekvivalens
Édesvízi ökotoxicitás	kg DCB - ekvivalens

A tanulmány szerint a fő környezetterhelő egység a Si-modul, ez képviseli a hatások több mint 90%-át.

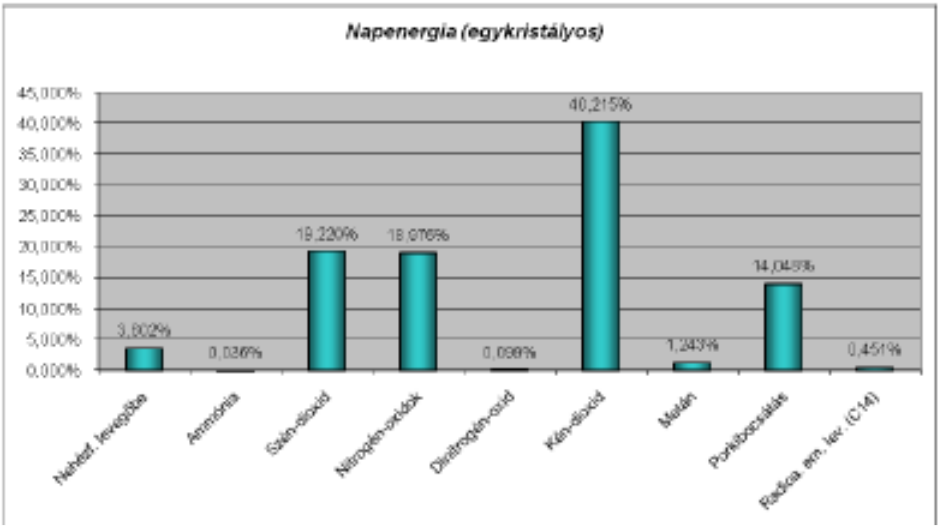
Az 40. *ábrán* a CML 2001 és az EI'99 elemzési módszerek alapján a napenergia termelés és a Si-modul környezeti indikátorai (hatáskategóriák) láthatók. A napsugárzásból származó energiatermelésre vonatkoztatva, a *globális felmelegedési potenciál*nál (lásd: Függelékben, *Hatás- és kárkategóriák*[D]) 1 MJ elektromos energia előállítása 0,0075 kg szén-dioxid kibocsátásnak felel meg, míg a *humán toxicitási potenciál* esetében 0,000692 kg DCB-ekvivalens. A szilícium modult nézve ezek az értékek - sorrendben - 0,00636 kg CO_2-ekvivalens és 0,000553 DCB-ekvivalens. Mindkét potenciálnál az emissziók az energiatermelésből és az alapanyagok gyártásából származnak.

A *savasodási potenciál*ban meghatározó emissziók az energiatermelésből származnak, így ez összefügg az energiafelhasználással. A szilícium modulon kívül az acél vázhoz, és egyéb szerelvényekhez is szükséges energia, de a legtöbb mégis a modul legyártásához kell. Az *eutrofizációs potenciál*nál is hasonló a helyzet.



40. ábra: A napenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

A *41. ábrán* láthatók a napelem gyártás során kibocsátott szennyezőanyagok, amelyek az EI'99 elemzési módszer értékét befolyásolják. A legmagasabb a kén-dioxid emisszió, az összes érték kb. 40%-a. Nagyjából 19-19% a szén-dioxid és nitrogén-oxidok aránya, melyeket a porkibocsátás követ 14%-kal. Kerülhet a levegőbe kevés nehézfém, akár a szállítás során is az autók miatt. Metán, C^{14} és ammónia is beleszól az EI'99 értékébe.



41. ábra: EI'99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók

A napenergia kiaknázásához gyártott napelem modulok igen bonyolultak a modellezés szempontjából. Sok gyártási cikluson mennek keresztül a különböző alkatrészek, amelyekhez a legkülönfélébb anyagokat kell felhasználni. A napenergia kiaknázása zéró emissziós, kivételt jelent a kihasználást lehetővé tévő eszközök gyártása. Magának a modulrésznek a megépítése adja a kibocsátás kb. felét, a maradék a keret és az állvány, valamint a huzalozás, ami acélból, műanyagból, rézből és alumíniumból van. Ezek gyártása szintén nagy energiaigényű, ezért is felelősek az üvegházhatású gáz kibocsátás több mint a feléért. *(www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf)*

5. A napelemes rendszerek környezeti hatásai

Az életciklus-elemzés után következnek a napelemek környezetre gyakorolt hatásai, amelyben gyakorlatiasabb oldalról közelítem meg a témát. A napelemeket általában a környezetre ártalmatlannak tartják, mivel sem zajt, sem kémiai szennyezőket nem bocsátanak ki. Természetvédelmi területeken is szívesen használják, mivel nem csúfítják el a tájat a villamos távvezetékek. Ez a technológia sem mentes azonban a kisebb környezetterhelésektől. A következőkben bemutatom a napenergia-felhasználás környezetterhelő hatásait és a hatások enyhítésének, elkerülésének lehetőségeit.

5.1 Területfoglalás

A napelemes modulok felülete viszonylag nagy, különösen nagyteljesítményű rendszerek esetén, és csak egymás mellé lehet elhelyezni őket a megfelelő besugárzás elérése céljából, vagyis a területigénye nagy. A természetes ökoszisztémákra gyakorolt hatásuk ezért viszonylag jelentős, bár függ a táj topográfiájától, az érzékeny ökoszisztémáktól való távolságtól és a biodiverzitástól. Az építkezés során szükséges földmunkák és anyagszállítás is fokozzák ezt a terhelést. Korábban művelt területek elfoglalása esetén a rendszerekkel szemben olykor megnyilvánuló ellenérzések forrása általában a gazdálkodók érzelmi kötődése a termőföldhöz. Az energiatermelő zsindelyeket háztetőkre lehet elhelyezni, vagy akár egy OSB-lapra is a kertbe, megfelelő dőlésszöggel, ha kisebb konstrukció is elegendő.

5.2 Szennyezőanyag kibocsátás

A napelemek normális működése semmilyen káros kibocsátással nem jár. Néhány technológiánál tűz esetén (például CIS és CdTe napelemeknél) mérgező anyagok kerülhetnek kis mértékben a levegőbe. Nagyteljesítményű központi rendszerek üzemzavara esetén a káros kibocsátás mértéke észlelhető nagyságot érhet el, csekély munka- és közegészségügyi kockázatot okozva. Az ilyen létesítményekben ezért fel kell készülni a tűzesetekre mind az anyagi eszközök, mind a személyzet oktatása terén. Másik, szintén kis kockázatot jelentő talaj- és talajvíz-szennyezési lehetőség lehet az anyagok nem megfelelő tárolása. A Tegosolarnál szennyezőanyag kibocsátás veszélye nem áll fenn.

5.3 Vizuális hatások

A napelemek elcsúfító hatása jelentős különbségeket mutat városi környezetben, illetve védett természeti tájak közelében. A korábban már említett változás az épületeken látható napelem modulokat illetően itt is tapasztalható, de megfelelő tervezéssel ezek a hatások jó irányba befolyásolhatók:

- Optimális építészeti megoldások keresése az épületek elcsúfításának csökkentése céljából. A nagy irodaépületek és bevásárlóközpontok burkolóanyagaként a napelemek új

hatások elérésére serkenthetik az építészeket. Az esztétikai értéken felül a napelemtáblák árnyékoló és hőszigetelő hatást is képesek kifejteni;

- a nagyteljesítményű központi napelemes rendszerek telephelyeinek megfelelő kiválasztása (távol eső, sivatagos jellegű tájakra);
- színek használata nagyteljesítményű központi napelemes rendszerek kivitelezésekor;
- a napelemes zsindely, mivel illeszkedik a tető síkjába, ezért műemlékvédelmi területeken is használhatják, ha az önkormányzat erre engedélyt ad.

5.4 Természeti erőforrások kimerítése

A mai napelemek gyártása eléggé energiaigényes tevékenység (főleg az egykristályos és polikristályos technológiák), és jelentős az anyagfelhasználás is. A vékonyréteg-technológia mindkét szempontból előnyösebb, emellett jóval kevesebb adalékanyagra van szükség, amelyek közül az indium, tellúr és gallium ártalmatlanok, de a kadmium mérgező. A CdTe technológiánál a kadmium 0,001%-a szabadulhat ki a gyártás során. Emellett a kadmium a cink gyártásának melléktermék, ha nem használják fel félvezetőgyártáshoz, akkor a környezetbe távozik. A gyártás környezetszennyező hatásait a következő intézkedésekkel lehet csökkenteni:

- vékonyabb rétegek felvitele,
- hatékonyabb anyagfelhasználás,
- biztonságosabb anyagok használata,
- a használt panelek újrafelhasználása.

5.5 Levegőszennyezés

A működés során semminemű levegőszennyezés nem tapasztalható, ezért a teljes életciklusra vizsgálva a levegőszennyezésért elsősorban a gyártás a felelős, a modulok szállításának szennyező hatása a gyártásának mindössze 0,1-1%-a. A mérések szerint az egykristályos és polikristályos technológiák esetén a legfontosabb szennyező gázok kibocsátása fajtánként 2-5 kg/kWp között alakul.

5.6 Zajártalmak

A működés során semminemű zaj nem tapasztalható, ezért a teljes életciklusra vizsgálva a zajártalmakért is elsősorban a gyártás a felelős. A szerelés is jár némi zajjal a helyszínen, ez azonban nem haladja meg az építkezéseknél szokásos mértéket és csak rövidtávú.

5.7 Hulladékképződés

A villamoshálózatra kötött rendszerek semmilyen hulladékot nem termelnek, veszélyes hulladékok elsősorban a hálózattól független rendszerekben az energiát tároló akkumulátorok miatt keletkeznek. Illetve hulladék lesz a napelem, ha elhasználódott, de újrahasznosításukra léteznek megfelelő technológiák. *(Kis M., 2005)*

Konklúzió

A napenergia hasznosítását megújuló jellege mellett a környezetszennyezés szinte teljes hiánya jellemzi, különösen a hagyományos energiaforrásokhoz viszonyítva. Markánsan megjelenik ez a tulajdonság olyan meteorológiai és levegőmérő állomások energiaellátásánál, amelyek így függetlenek lehetnek a villamos hálózattól, és a környezet megóvását szolgálják.

A társadalmi-gazdasági hatások közül kiemelkedik az energiaforrások sokrétűsége, az államok energiafüggetlensége és a távoli vidéki körzetek villamosításának elősegítése. Mint minden emberi tevékenység, a napenergia hasznosítása is okoz környezetszennyezést. Ez azonban alacsony a hagyományos, fosszilis energiahordozókra alapozott energiatermeléshez képest.

6. A napelemek újrahasznosítása

A modulok élettartama jobb esetben 30 év, miután leszerelik és kidobják vagy újrahasználják azokat. Egyes napelemek Cd, Pb[32] tartalma miatt kemény előírások vonatkoznak rájuk, így lerakókon való elhelyezésük környezetvédelmi szempontból kifogásolható, mivel belekerülhetnek a felszín alatti vizekbe és elszennyezhetik azokat. A legmegfelelőbb megoldás az újrahasznosítás lenne.

A vékonyfilmes napelemek esetében a fő tömeget az üveg alkotja. Ezek, illetve a többi napelem típus újrahasznosítása csak ráfizetéssel biztosítható. Különböző erőművek kohói vevők lehetnének a hulladékukra, mivel a működésükhöz szükség van szilícium-dioxidra. Így a fémek kis mennyisége sem jelentene gondot, kinyerhető lenne a tellúr, a nikkel, a szelén, a kadmium. Az etil-vinil-acetát és a többi műanyag monomer gőzökre és szén-dioxidra bomlik.

Az EPA (Environmental Protection Agency) karakterisztikus toxikus szivárgás-vizsgálati eljárásában (TCLP – Toxicity Characteristic Leaching Procedure) a napelemek átmennek, mivel mérgező fémeket csak kis mennyiségben tartalmaznak, viszont az elektronikai hulladékok nyomtatott huzagolású lemezei, amelyek értékes fémeket is tartalmaznak, fennakadnának. Ezeket a továbbiakban lerakásra, égetésre vagy külföldre viszik. Ezek a különbségek befolyásolják az újrahasznosítási hajlandóságot.
(http://www.muszakilapok.hu/kornyezetvedelem/elektronikai-hulladekok-az-lca-szemszogebol)

Előkezeléssel, főleg dúsítással gazdaságosabbá tehető az újrafeldolgozás, vagy koncentrálhatóak a veszélyes összetevők. Koncentrálással csak a valóban veszélyes összetevők kerülnek veszélyes hulladéklerakóra, a többi kommunális lerakóra is vihető.

Megoldást jelenthet a kicsapatás, a töményítés az oldatban, ill. elektrokémiai módszerek. Hidroxidos kicsapatással a kadmium és a tellúr, valamint a réz, az indium és a szelén egymástól szétválasztható. *(Gadár et al., 2003)*

2002-ben a Sharp kifejlesztett egy technológiát az elhasznált fotovoltaikus modulok újrahasznosítására. Ennek a technológiának a lényege, hogy a modul hátulja egy új epoxi borítást kaphat, elősegítve ezzel az üveg előlap, a napelemek és egyéb anyagok újrafelhasználását. Egy másik újrahasznosítási módszer a modul összetevőinek (kivéve a napelemek) leolvasztását foglalja magába. A visszanyert anyagokat új cellák létrehozásához,

[32] Pb: Az ólom a szervezetbe kerülve zavarja az agyfunkciókat, a vérképző és kiválasztó szerveket, valamint elraktározódik a csontokban.

és új modulok gyártásához használják fel. A fotovoltaikus termékek gyorsan növekvő piacának köszönhetően a PV modulok újrahasznosításának fontos szerepe lesz a jövőben, de jelenleg a megfelelő technológiát még nem dolgozták ki.
(http://www.sharp.eu/cps/rde/xchg/hu/hs.xsl/-/html/sharp_napelemek.htm)

7. A napelemek gazdaságossága Magyarországon

A továbbiakban a 2008-as, „Út a jövőbe" konferenciasorozat Hegyesi József, Kohlheb Norbert: „A napenergia termikus és fényelektromos hasznosításának gazdaságossági vizsgálata Magyarországon" című tanulmányát alapul véve bemutatom, hogy a napelemeknek van-e lehetőségük a térnyerésre hazánkban, gazdaságos-e az üzemeltetésük hosszútávon.

7.1 A hazánkban elérhető potenciálok

A Föld felszínén rendelkezésre álló napenergia éves mennyiségét *fizikai potenciál*nak nevezzük. A fizikailag rendelkezésre álló mennyiségnek azonban csak egy bizonyos része hasznosítható a jelenleg rendelkezésünkre álló műszaki eszközökkel. Ez a mennyiség a *műszakilag hasznosítható potenciál*. Az alternatív energiaforrásokkal még versenyképes napenergia-hasznosítás mértéke adja a *gazdaságilag* is *hasznosítható potenciál*t.

A műszakilag hasznosítható potenciál meghatározása az éves fizikai potenciálból kiindulva a napenergia hasznosítására alkalmas berendezések hatásfoka alapján számítható.

Természetesen a napenergiás rendszerek által termelt hasznos energia még kevesebb, hiszen azt tovább csökkentik a rendszerek különböző veszteségei (pl. az inverterek kb. 5%-os átalakítási vesztesége).

A fényelektromos és termikus műszaki potenciál hasznosítását a gazdasági megtérülése határozza meg, vagyis az, hogy gazdaságilag kedvezőbb-e a napenergia közvetlen hasznosítása más alternatív energiaforrások hasznosításával szemben, pl. a hálózati villamos energiánál vagy a földgáznál. Amennyiben a napenergia hasznosítása olcsóbb bizonyos alternatív energiahordozóknál, a korábban ebből az energiahordozóból termelt energia kiváltható napenergiával. Az így megtermelt energiamennyiséget tekintjük a gazdaságilag hasznosítható potenciálnak. Ennek alapján, amennyiben a napenergia olcsóbb,

mint az alternatív megoldások, a gazdaságilag hasznosítható potenciál elérheti akár a műszakilag hasznosítható potenciált is. Ez viszont akkor következhet be, ha a napelemek elhelyezésére elegendő terület és megfelelő sugárzási viszonyok állnak rendelkezésre, illetve, ha a modulok jó hatásfokkal üzemelnek és tovább fejlesztik azokat, hogy versenyképessé váljanak.

Magyarországon is megfelelő alternatíva lenne a napenergia-felhasználás, hiszen - a Naplopó Kft. által készített felmérés alapján - az ország területére 380-szor nagyobb mennyiségű energia érkezik, mint az egy éves energiafelhasználása. Ha Magyarország területe 93 030 km^2, és ha egy négyzetméter vízszintes felületre egy év alatt - a gyengébb sugárzási adottságú részeken is - kb. 1 250 kWh energia érkezik a Napból, akkor: a teljes területére összesen 116 287 500x10^6 kWh = 418 635 PJ[33] energia érkezik. Magyarország egy éves energiafelhasználása kb. 1 100 PJ, tehát a beérkező napsugárzás és az energiafelhasználás aránya: 418 635 PJ /1 100 PJ = 380.

A következő tanulmányban a gazdaságilag hasznosítható potenciál meghatározásához a *hálózati villamos energia* és a *földgáz árá*hoz viszonyítják a *napelemes villamosenergia-termelés költségei*t.

7.2 A modellszámítás ismertetése

A napelemes rendszerek esetében négy különböző méretű, egyenként 4, 6 és 12 modulból álló, 0,348-2,4 kW közötti, beépített kapacitású beruházással számoltak.
A napelemekkel termelt elektromos áram előállítási ára támogatás nélkül:

Modulszám (felület)	Kapacitás	Beruházás költsége	Fajlagos költség	Éves vill. energia-termelés	Fajlagos költség	Villamos energia előállítási ára napelemmel
db. (m^2)	kW	Ft	Ft/m^2	kWh/év	Ft/kWh/év	Ft/kWh/ élettartam*
4 (2,63)	0,348	717 500	273 203	430	1 669	55,65
6 (3,94)	0,522	957 500	243 058	645	1 485	49,51
12 (7,88)	1,044	1 626 250	206 409	1289	1 261	42,04
12 (18,11)	2,400	3 350 000	184 959	2964	1 130	37,67

* 30 éves élettartammal számolva

42. táblázat: Napelemmel termelt áram előállítási ára (Kitzinger, 2008)

[33] 1 kWh= 3 600 000 J

Költségek esetében csak a beruházási költségeket vették figyelembe, hiszen a működési költségek napelemes rendszereknél elhanyagolhatóak, ill. az egyenáramról váltóárammá való átalakítási veszteségben megjeleníthetőek (5%). A napelemekkel megtermelt villamos energia mennyiségét viszonyították a teljes beruházás költségéhez, és így megkapták a napelemes energiatermelés árát. A számításokat - Magyarország területére eső - 1250 kWh/m^2/éves átlagos energiahozammal, 30 éves élettartammal, valamint 0 ill. 30%-os állami támogatás esetében végezték el.

A számítások:

A táblázatban *(42. táblázat)* elemzem az adatok első sorát: ahol látható a 4 modulból álló 2,63 m^2 felülettel rendelkező napelem, amelynél a beruházás költsége ~715 500 Ft (2,63x273 203), ha a fajlagos költség, vagyis a napelem négyzetméterenkénti ára 273 203 Ft.

A modul kapacitása 0,348 kWp, és a beeső napsugárzás mennyisége 1250 kWh/m^2/év, akkor a megtermelt éves villamos energia kb. ~430 kWh/év (0,348x1300).

A táblázat szerint a teljes beruházás költsége 717 500 Ft és az éves megtermelt villamos energia 430 kWh, akkor a fajlagos költség ~1669 Ft/kWh egy évben (717 500/430).

Ezt az 1669 Ft-os fajlagos költséget 30 éves időtartamra számítva megkapjuk a 430 kWh villamos energia napelemmel történő előállítási árát, ami ~55,65 Ft (1669/30) egy évben. A többi modulra hasonlóan kiszámítható.

7.3 A napelemek gazdasági versenyképessége és következtetés

A napelemek 1250-1300 kWh/m^2/éves áramtermelési kapacitását, 5%-os hálózati veszteséget és a valós beruházási költségeket figyelembe véve a napelemmel történő villamos energiatermelés 30 éves élettartam esetén 39-55 Ft/kWh áron valósítható meg. Az árak közötti különbség a méretgazdaságosságból adódik, vagyis minél nagyobb a beépített kapacitás, annál alacsonyabb a beruházás egy egységnyi beépített kapacitásra eső ára.

Ha ezeket az eredményeket a jelenlegi elektromos energia árával (47,85Ft/kWh - ELMŰ 2010 *(http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/200912/tajekoztato_2010_vill_en__2_.pdf))* összehasonlítjuk, látható, hogy már a hat (49,51 Ft) vagy tizenkét (42,04 Ft) modulból álló napelem telepítése is megtérülne a hálózati árhoz viszonyítva. Figyelembe véve a hálózati elektromos energia árának gyors növekedését, feltételezhető, hogy rövid időn belül a napelemes villamosenergia-termelés versenyképes alternatívát nyújthat.

A napelemekkel termelt elektromos áram előállítási ára 30%-os támogatás esetén:

Modulszám (felület)	Kapacitás	Beruházás költsége	Fajlagos költség	Éves vill. energia-termelés	Fajlagos költség	Villamos energia előállítási ára napelemmel
db, (m²)	kW	Ft	Ft/m²	kWh/év	Ft/kWh/év	Ft/kWh/ élettartam*
4 (2,63)	0,348	502 250	191 242	430	1 169	38,95
6 (3,94)	0,522	670 250	170 141	645	1 040	34,66
12 (7,88)	1,044	1 138 375	144 486	1289	883	29,43
12 (18,11)	2,400	2 345 000	129 471	2964	791	26,37

* 30 éves élettartammal számolva

43. táblázat: Napelemmel termelt áram előállítási ára 30%-os támogatás esetén (Kitzinger, 2008)

Amennyiben igénybe vesszük a 30%-os beruházási támogatást, a napelemmel előállított villamos energia 26-39 Ft/kWh áron lesz előállítható, amely már változataink többségében valóban olcsóbb, mint a hálózati villamos energia. A jelenlegi lakossági villamos energia átvételi szabályozás szerint a háztartási villamosenergia-termelés[34] (ELMŰ hálózaton belül) legfeljebb a fogyasztás 60–100%-áig terjedhet *(Pénzes, 2008)*, és a *háztartás által eladott áram ára*[E] (lásd: *Függelék, E*) megegyezik annak mindenkori vételi árával (ad-vesz mérőóra alkalmazása). Az el nem használt, többletként jelentkező elektromos áramot a szolgáltató köteles megvásárolni, azonban ez az ár már kevesebb, nettó 29,28 Ft/kWh. *(Via Futuri 2008, Hegyesi & Kohlheb)*

Visszautalva az általam vizsgált napelemes rendszerre - egy 1 kWp teljesítményű Tegosolar energiatermelő rendszert (~17 m^2), 30%-os állami támogatás mellett, 1,2 millió forintból be lehetne építeni, amely évente 1200 kWh áramot termelne. A beruházás 14,8 év alatt megtérülne és utána a következő 10,2 évben még további 1,81 millió forintot termelne a napelemes zsindely, tehát a beruházott összeg közel 1,5-szeresét.

Konklúzió

A fenti számítások szerint bizonyos méret felett a napelemek használata már versenyképes alternatívát jelent a folyamatosan dráguló hálózati villamos energia és a földgáz árával szemben. Ma egy napelemes áramellátó rendszer árának mintegy 80%-át a napelemek teszik ki, a maradék 20% pedig az inverter és a telepítés költsége. Amint a napelemek ára az elterjedésének köszönhetően jelentősen csökken, ill. az energia árak és az energiaigény

[34] „Háztartási Méretű Kiserőmű”: 40 kW alatti teljesítményű napelemes áramellátó rendszerekre érvényes a szabályozás.

továbbra is drasztikusan nő, akkor a napelemes energiaellátó rendszerek is egyre elterjedtebbek lesznek.

Jelen helyzetben még drágább megoldást jelent, mint a napkollektoros rendszer[35], mert a megtérülési idő hosszabb. Ezen a helyzeten azonban jelentősen lendíthet az idén hozzáférhető 30%-os beruházási támogatást (Zöld Beruházási Program Klímabarát Otthon pályázata) biztosító NEP (Nemzeti Energiatakarékossági Program), amelynek köszönhetően a napenergia hasznosítása már jelentős árelőnyt jelent az elektromos áram esetében. Egyéb pályázási lehetőségek is rendelkezésre állnak, mint a „Megújuló energiaalapú térségfejlesztés" című KEOP (Környezet és Energia Operatív Program) pályázat, mely lakásszövetkezetek és vállalkozások részére nyújt vissza nem térítendő támogatást.

Különösen fontos lenne napelemek vagy napkollektorok telepítése a városi övezetekben, hiszen a napenergia hasznosításához szükséges, itt jelentkező felületigény nem vesz el területeket az élelmiszertermelés elől, és kompenzálhatná a nyári időszakban jelentkező villamos energia csúcsokat, vagy megoldaná a melegvíz-ellátást. Óbudán már volt egy ilyenfajta kezdeményezés, ahol napkollektorokat szereltek fel egy panelháztömb tetejére és az egész házat a „Faluház Projekt" keretében felújították. A házon 1500 m^2 felületű napkollektort helyeztek el, ami éves átlagban 52%-ban biztosítja a meleg vizet a lakók számára.

[35] Egy **12 csöves napkollektor** ára 100 literes fali tárolóval, komplett zárt tágulási tartályos rendszerrel, 1-3 fő részére 182 100-227 600 Ft között alakul. *(http://www.permanent.hu/napkollektor.php)*

Összefoglalás

Dolgozatomban tárgyaltam a napenergia felhasználásának lehetőségeit, kiemelve a napelemek elterjedésének jelentőségét. Bár a piacon már jelenleg is elérhetőek és széles körben használatosak megbízható napelemes rendszerek, ahhoz, hogy meghatározó energiaforrássá válhassanak elengedhetetlen a technológiák továbbfejlesztése.

Elemeztem, hogy a napelemes rendszerek milyen hatással vannak a környezetre a napelem életciklus-elemzése alapján. Hazánkban a napelemes rendszerek háztartásokban való alkalmazása még közel sem terjedt el annyira, mint pl. Németországban. Sajnos jelenleg még a beruházási költség nagysága, és a hosszú idejű megtérülés sok esetben visszatartó erő.

Munkám során meghatároztam a hatásfokot, összevetettem a mérési adatokkal a névleges adatokat, kiszámoltam a megtérülést.

Napjainkban a megújuló energiaforrások szerepe egyre nő, szükség van ezek teljes körű kihasználására. A sokféle fotoelektromos megoldás közül azért emeltem ki a napelemes zsindelyeket a dolgozat tárgyaként, mert maga az ötlet, hogy egy bitumenes vízszigetelő lemezt társítsunk napelemes cellákkal egyszerű, a technológiája újszerű és a végtermék széleskörűen felhasználható. De hiábavaló minden fejlesztés, ha a következő nemzedéket nem neveljük arra, hogy védjék a környezetüket.

Így az energia-problémáink megoldásában az egyik legfontosabb tényező a környezettudatos nevelés. Az emberekkel meg kell értetni a fenntartható fejlődés lényegét. A környezetvédelem, a környezetért és annak állapotáért érzett felelősség, valamint a környezettudatos életmód kialakítása, mind hozzájárulnak ahhoz, hogy bolygónkat megvédjük és a jövő generációi is élvezhessék annak javait.

Dissertation summary

In my dissertation I have discussed the different ways of using solar energy, emphasizing the importance of the spread of the solar cells. Though the reliable solar systems are attainable and extensively used within the market; for them to become a main energy source the improvement of technology is essential.

Within the dissertation I have also covered the topic of solar cells' effect on the environment by analysing their life-cycle. In Hungary, using solar cell systems are not as

common as in Germany. Unfortunately the cost of investing in them and the length of their return are often prohibitive.

Pending my work, I have determined the efficiency, I have set the measured data against the rating ones, and I have counted the payback.

Nowadays, the roles of renewable energy sources are growing, and we need to make maximum use of them. Of all the types of photovoltaic solutions I have chosen the solar cell shingle as the subject of my dissertation, because the idea of combining bituminous water felt with solar cells is simple, and its technology is innovative, and the result can be used widely. But all the technical innovations will be useless if we don't encourage the next generation to protect our environment.

To solve our energy problems, one of the most important factor is environmental consciousness. People need to understand the reasons for carrying out sustainable development. The environment protection, the responsibility for maintaining its state and the development of an environmentally conscious lifestyle have all contributed in protecting our planet for the next generation, for the benefit of all mankind.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Horváth Ákosnak, hogy a kezdeti nehézségek ellenére támogatta dolgozatom létrejöttét, segítséget nyújtott az információk és adatok tengerében és a mérésem elemzésében.

Köszönöm Pávó Gyulának, hogy rendelkezésemre bocsátotta a napsugárzás mérőt, illetve, hogy részt vehettem egy labori mérésen, a napenergia felhasználásával kapcsolatban.

Hálás vagyok a Tegola Ungarese-nek, azon belül Bodzsár Gergelynek, hogy leírhattam és vizsgálhattam egy terméküket, és ellátogathattam Balatonfüredre, valamint Gelencsér Ferencnek, hogy minden kérdésemre válaszolt az inverterrel kapcsolatban.

Sokat segített még Lábadi Zoltán, aki részletes tájékoztatást adott a CIS napelemekről az MTA-MFA Kutatóintézetében.

Végül köszönettel tartozom édesanyámnak, aki az összefüggéseket segített megérteni és barátaimnak, akik átolvasták a szakdolgozatot és tanácsaikkal segítették a megfogalmazást.

Nyilatkozat

Név: ***Bathó Vivien***

ELTE Természettudományi Kar: Környezettudományi szak

ETR azonosító: ***BAVMAAT.ELTE***

Diplomamunka címe: ***A napelemek környezeti célú vizsgálata (különös tekintettel az energiatermelő zsindelyekre)***

A **diplomamunka** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2010. május 17.

_____

a hallgató aláírása

Ábrajegyzék

1. táblázat: A világ energiafelhasználásának százalékos megoszlása a primer energiahordozók szerint ***4. o.***
(SEMBERY, Péter & TÓTH, László (2004): Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó, Budapest, p. 16., 1.1. táblázat)
2. ábra: Megújulókból termelt villamosenergia Magyarországon ***7. o.***
(Dr. STRÓBL, Alajos - ETE-MTT: A megújuló energiákból történő villamosenergia-termelés növelése, a közeljövő feladatai - pdf)
3. ábra: A beeső napsugárzás Európában ***9. o.***
(NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center; New és társa, 2002)
4. ábra: Magyarország: Napenergia és földfelszíni meteorológia ***10. o.***
(NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center; New és társa, 2002)
(http://eosweb.larc.nasa.gov)
5. ábra: Napkollektoros rendszer ***11. o.***
(http://www.zoldtech.hu/cikkek/20070425napkollektor/kepek/4.jpg)
6. ábra: A passzív ház szerkezete ***12. o.***
(www.passzivhazak.hu/passzivhaz_mi_a_passivhaz.html)
7. ábra: Egy átlagos Si alapú napelem felépítése ***15. o.***
(http://www.tankonyvtar.hu/mezogazdasag/szolgaltatastechnika-2-4-080906-5)
8. ábra: Egy épület napelemes rendszere ***17. o.***
(www.tegola.hu)
9. ábra: Napelemes rendszer inverterrel ***18. o.***
(www.tegola.hu)
10. ábra: A maximálisan levehető teljesítmény munkapontja (M) az áram-feszültség karakterisztikán ***19. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 31.)
11. ábra: Különböző napelem-konstrukciókban az elméletileg elérhető maximális hatásfok a tiltottsáv-szélesség függvényében ***20. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 32.)
12. ábra: Piramisos szerkezet ***21. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 55.)
13. ábra: Különböző napelem típusok hatásfokai ***22. o.***
(http://www.viafuturi.hu/Letoltes/viafut2008.pdf)
14. ábra: Szilícium kristály ***23. o.***
(http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)
15. ábra: N-típusú Si előállítása As donorszennyezéssel ***24. o.***
(http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)
16. ábra: P-típusú Si előállítása In akceptor szennyezéssel ***25. o.***
(http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf)
17. ábra: Az amorf Si szabad kötéseit hidrogén köti le ***26. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 69., 5.15. ábra)

18. ábra: Polikristályos vékonyréteg napelem keresztmetszete ***27. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 67., 5.14. ábra)
19. ábra: A kadmium-tellúrid alapú napelem szerkezete ***28. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 75., 5.22. ábra)
20. ábra*:* Cinkblende típusú kristályrács ***29. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 81., 5.29. ábra)
21. ábra*:* A CIS napelem szerkezete ***31. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 76., 5.24. ábra)
22. ábra*:* A $CuInGaSe_2$ napelem struktúra keresztmetszete ***32. o.***
(http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/04_Napelem)
23. ábra*:* A CIGS szerkezete ***32. o.***
(saját ábra)
24. ábra*:* Az integrált vákuumrendszer elvi vázlata **33. o.**
(http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/04_Napelem)
25. ábra*: Az* integrált vákuumrendszer, előtérben a lézervágó kamrával ***34. o.***
(http://alag3.mfa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/04_Napelem/abra_15.jpg)
26. ábra*: Vastagréteg kontaktusú napelem rétegei* ***34. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 62., 5.9. ábra)
27. ábra*:* Eltemetett kontaktusú napelem szerkezete ***35. o.***
(NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 64., 5.11. ábra)
28. ábra*:* Különböző típusú napelemek hatásfokának fejlődése a naptári évek szerint ***37. o.***
(http://alag3.mafa.kfki.hu/mfa/nyariiskola/04_Napelem/abra_11.gif)
29. ábra*:* Önárnyékolás elkerülésére a napelemeket több sorban, megfelelő távolsággal helyezték el ***38. o.***
(Tegola Ungarese)
30. ábra*:* Az UNI-SOLAR és egyéb termékek használatával egy év alatt termelt elektromos energia mennyisége (Bolzano-Olaszország) ***39. o.***
(Tegola Ungarese)
31. ábra*:* Egy év alatt termelt elektromos energia mennyisége különböző típusú napelem termékek esetében ***40. o.***
(Tegola Ungarese)
32. ábra*:* A cellák tekercsben ***40. o.***
(Tegola Ungarese)
33. ábra*:* Az UNI-SOLAR cella rétegszerkezete ***41. o.***
(Tegola Ungarese)
34. ábra*:* A diódák fényérzékenysége ***41. o.***
(Forrás: Tegola Ungarese)
35. ábra*:* Tegosolar méretei ***42. o.***
(Tegola Ungarese)
36. ábra*:* Tegosolar Balatonfüreden ***43. o.***
(saját fotó)
37/a táblázat*:* Tegosolar által termelt energia 04. 28-án ***45. o.***
(saját mérés)

37/b táblázat: Tegosolar által termelt energia 05. 07-én ***46. o.*** *(saját mérés)*
37/c ábra: A pillanatnyi napsugárzás és a teljesítmény három órán át tíz perces mérésekkel ***47. o.*** *(saját mérés)*
37/d ábra: A naplopo.hu ábrája a május 7-i napsugárzásról ***48. o.*** *(http://naplopo.hu/napsug.html)*
37/e táblázat: A Tegosolar napelem hatásfoka a naplopo.hu adatai alapján ***49. o.*** *(saját kalkuláció)*
38/a táblázat: Tegosolar rendszer beépítésének megtérülési számítása a névleges teljesítmény alapján ***50. o.*** *(saját kalkuláció)*
38/b táblázat: Tegosolar rendszer beépítésének megtérülési számítása 4%-os hatásfok alapján ***51. o.*** *(saját kalkuláció)*
39. táblázat*:* Környezeti hatáskategóriák ***55. o.*** *(http://www.lcacenter.hu/index.php?id=91)*
40. ábra*:* A napenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei ***56. o.*** *(www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf)*
41. ábra*:* EI'99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók ***57. o.*** *(www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf)*
42. táblázat*:* Napelemmel termelt áram előállítási ára ***63. o.*** *(HEGYESI, József & KOHLHEB, Norbert (2008): A napenergia termikus és fényelektromos hasznosításának gazdaságossági vizsgálata Magyarországon, Via Futuri 2008 - A napenergia-hasznosítás)*
43. táblázat*:* Napelemmel termelt áram előállítási ára 30%-os támogatás esetén ***65. o.*** *(HEGYESI, József & KOHLHEB, Norbert (2008): A napenergia termikus és fényelektromos hasznosításának gazdaságossági vizsgálata Magyarországon, Via Futuri 2008 - A napenergia-hasznosítás)*

Irodalomjegyzék

<u>*Könyvek, folyóiratok és webes források*</u>

SEMBERY, Péter & TÓTH, László (2004): Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó, Budapest, p. 13.
VÉGH, László*:* Az olajválság és várható következményei c. dolgozat (http://www.angelfire.com/moon/vl/html/vldolg02.html)
SEMBERY, Péter & TÓTH, László (2004)*:* Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó, Budapest, p. 18.
Dr. PÁTZAY, György: Energiahordozók - pdf (http://zk.vemt.bme.hu/energia.pdf)
Dr. THYLL, Szilárd (1996): Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 41.
SEMBERY, Péter & TÓTH, László (2004): Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó, Budapest, pp. 18-19.
Dr. BENCE, János (2005): Megújuló energiák, *Elektrotechnika*, **98**(5): 129. (http://www.omikk.bme.hu:8080/cikkadat/bitstream/123456789/813/1/2005.05bol1.pdf)
HOFFMANN, Winfried (2006): Photovoltaic on the Way from a Few Lead Markets to a World Market, European Renewable Energy Review
Dr. THYLL, Szilárd (1996): Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 41.
Dr. THYLL, Szilárd (1996): Környezetgazdálkodás a mezőgazdaságban, Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 42.
LÁBADI, Zoltán: szóbeli közlés, MTA-MFA
HORVÁTH, Ákos (2006): A napenergia modern felhasználási lehetőségei, *Fizikai Szemle*, **4**: 144.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 29.
BARÓTFI, István (2000): Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 59-61.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 29-33.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 44-46.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 60-61.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 66-67.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 73-76.
SZABÓ A., REGIUSNÉ MŐCSÉNYI Á., GYŐRI D. & SZENTMIHÁLYI S. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (Esszenciális mikroelemek), Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 235.
HARTAI, Éva (2003): A változó Föld, Miskolci Egyetem Kiadó – Well-PRess Kiadó, Miskolc, p. 31.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 80-81.
NÁRAY-SZABÓ, Gábor (2006): Kémia, Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, pp. 370-371.
NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 76.

NEMCSICS, Ákos (2001): A napelemek fejlesztési perspektívái, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 61-64.
TAMASKA, László & RÉDEY, Ákos (2001): Életciklus-elemzés alkalmazása az építőiparban, *Épületanyag*, **3**.
KIS, Miklós (2005): Ökotech 2005 kiállítás és konferencia, *Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte*, **44**(3): 60–67.
GADÁR, L., HIMER, Á., LUKÁCS B., & SOMLAI P. (2003): Elektromos és elektronikai készülékek hulladékainak vizsgálata, Veszprémi Egyetem, p. 57. (http://geo.science.unideb.hu/taj/dokument/kiadvanyok/Diplomamunka-3.1.pdf)
HEGYESI, József & KOHLHEB, Norbert (2008): A napenergia termikus és fényelektromos hasznosításának gazdaságossági vizsgálata Magyarországon, Via Futuri 2008 - A napenergia-hasznosítás

Webes irodalom

http://www.redonybolt.info/szaktanacsadas/sanyo-hoszivattyu
http://www.kia.hu/konyvtar/szemle/63_f.htm
http://www.kia.hu/konyvtar/szemle/63_f.htm
http://hu.wikipedia.org/wiki/Albed%C3%B3
http://www.naplopo.hu/prospekt/napkollektor-melegv%EDz.html
http://www.wikipedia.hu
http://www.passzivhazak.hu/passzivhaz_mi_a_passivhaz.html
http://www.tankonyvtar.hu/mezogazdasag/szolgaltatastechnika-2-4-080906-5
http://www.villanyszaklap.hu/cikkek.php?id=563
http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/felvezetok.pdf
http://www.webelements.com/mercury/geology.html
http://elektro.get.bme.hu/edu/subjects/BMEVIAUA010Z/Vetitett%20diak/4dia_per_oldal-FF/de_5_p2_Technol%C3%B3giai%20lepesek%201-2.pdfdr
http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.htm
http://www.gic.co.hu/gaas_hu.html
http://hu.wikipedia.org/wiki/Szel%C3%A9n
http://www.nimfea.hu/programjaink/zold/napenergia.htm
http://www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf
http://www.muszakilapok.hu/kornyezetvedelem/elektronikai-hulladekok-az-lca-szemszogebol
http://www.sharp.eu/cps/rde/xchg/hu/hs.xsl/-/html/sharp_napelemek.htm
http://www.napkollektor-napelem.eu/index.php?/Napelem/napelem-cellak-nemetorszagi-helyzete.html *(Napcsoport)*
http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/200912/tajekoztato_2010_vill_en__2_.pdf *(ELMŰ 2010)*
http://napelemvasarlas.hu/product.php?tipus=QS_Solar_QS60DGU_aSi
http://ludens.elte.hu/~akos/kmod/mleir.html *(Környezetfizikai módszerek laboratóriumi gyakorlat: Akkumulátorok feltöltése napelem segítségével)*
http://www.emosz.hu/presentations/2008Penzes.pdf *(Pénzes László, 2008)*
http://www.tegola.hu *(Tegola Ungarese)*
http://apeiron.uw.hu *(Sánta Csaba-Fizika jegyzetek)*
http://www.kvvm.hu/cimg/.../18__szeleromu_tajekoztato_2005.pdf *(KvVM - Tájékoztató)*
http://en.wikipedia.org/wiki/Lux
http://www.unitconversion.org/unit_converter/illumination.html
http://www.permanent.hu/napkollektor.php
http://www.naplopo.hu/napsug.html

Függelék

A 1. Kristályos szilícium alapú napelem energiatermelése: Az energiatermelés éves átlaga 1120 kWh, négyzetméterenként 1410 kWh-nak megfelelő sugárzás éri a földet.

Fixed system: inclination=35◆, orientation=0◆				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.34	41.5	1.51	46.9
Feb	2.09	58.4	2.41	67.4
Mar	2.94	91.0	3.52	109
Apr	3.88	116	4.83	145
May	4.17	129	5.39	167
Jun	4.32	130	5.66	170
Jul	4.61	143	6.08	188
Aug	4.24	132	5.55	172
Sep	3.72	112	4.69	141
Oct	2.77	85.9	3.37	105
Nov	1.64	49.2	1.92	57.5
Dec	1.05	32.5	1.18	36.7
Yearly average	**3.07**	**93.3**	**3.85**	**117**
Total for year		**1120**		**1410**

2. CIS napelem energiatermelése: Az energiatermelés 1410 kWh, négyzetméterenként 1140 kWh-nak megfelelő sugárzás éri a földet.

Fixed system: inclination=35◆, orientation=0◆				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.33	41.3	1.51	46.9
Feb	2.09	58.4	2.41	67.4
Mar	2.96	91.9	3.52	109
Apr	3.94	118	4.83	145
May	4.26	132	5.39	167
Jun	4.42	133	5.66	170
Jul	4.72	146	6.08	188
Aug	4.34	135	5.55	172
Sep	3.79	114	4.69	141
Oct	2.80	86.8	3.37	105
Nov	1.64	49.3	1.92	57.5
Dec	1.04	32.3	1.18	36.7
Yearly average	**3.12**	**94.8**	**3.85**	**117**
Total for year		**1140**		**1410**

3. CdTe alapú napelem energiatermelése: Az energiatermelés 1240 kWh, négyzetméterenként 1410 kWh-nak megfelelő sugárzás éri a földet.

Fixed system: inclination=35◆, orientation=0◆				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	1.38	42.9	1.51	46.9
Feb	2.18	61.1	2.41	67.4
Mar	3.13	97.0	3.52	109
Apr	4.24	127	4.83	145
May	4.68	145	5.39	167
Jun	4.91	147	5.66	170
Jul	5.26	163	6.08	188
Aug	4.82	149	5.55	172
Sep	4.14	124	4.69	141
Oct	3.03	93.9	3.37	105
Nov	1.74	52.2	1.92	57.5
Dec	1.09	33.7	1.18	36.7
Yearly average	**3.39**	**103**	**3.85**	**117**
Total for year		**1240**		**1410**

E_d: átlagos napi áramtermelés kWh-ban
E_m: átlagos havi áramtermelés kWh-ban
H_d: átlagos napi teljes besugárzás m^2-ként kWh/m^2-ben
H_m: átlagos havi teljes besugárzás m^2-ként kWh/m^2-ben
(http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php)

B 1. A Balatonfüreden használt inverter

(saját fotó)

2. Gelencsér Ferenccel, az inverter üzembe helyezőjével

(saját fotó)

3. Bodzsár Gergellyel, a Tegola Ungarese kereskedelmi vezetőjével

(saját fotó)

4. Tegosolar

(saját fotó)

C A napenergia termelés folyamatának leltár táblázata

ELECTRICITY (SOLAR) -- Plan instance

Local name: ELECTRICITY (SOLAR) No image Cancel OK

Local settings | VF | LCC

Scaling factor: 1,6709 Fixed Allocation: (no allocation)

Free parameters

Fixed parameters

Inputs — Show all flows

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr
	Water (surface water) [Water]	Mass	0,071483	kg	
	Inert rock [Non renewable resources	Mass	0,064555	kg	
	Air [Renewable resources]	Mass	0,059114	kg	
	Water (river water) [Water]	Mass	0,052621	kg	
	Water for industrial use [Operating r	Mass	0,038147	kg	
	Cooling water [Operating materials]	Mass	0,037345	kg	
	Krypton (Kr85) [Radioactive emissior	Activity	0,033003	Bq	
	Water (ground water) [Water]	Mass	0,029101	kg	
	Water [Water]	Mass	0,020576	kg	
	Process water [Operating materials]	Mass	0,015756	kg	
	Primary energy from hydro power [R	Energy ren. (r	0,013827	MJ	
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,0048138	kg	
	Copper ore (0.14%) [Non renewable	Mass	0,0045892	kg	
	Iron ore [Non renewable resources]	Mass	0,0015714	kg	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissior	Activity	0,001092	Bq	
	Natural gas CIS [Natural gas (resour	Mass	0,00088977	kg	
	Bauxite [Non renewable resources]	Mass	0,00086695	kg	
	Hard coal Germany [Hard coal (reso	Mass	0,00053139	kg	
	Limestone (calcium carbonate) [Non	Mass	0,00047869	kg	
	Quartz sand (silica sand; silicon dioxi	Mass	0,00044814	kg	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (re	Energy (net c	0,00036939	MJ	
	Radon (Rn222) [Radioactive emissior	Activity	0,00033841	Bq	
	Zinc - copper ore (4.07%-2.59%) [N	Mass	0,0002407	kg	
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,0002103	kg	
	Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	0,00020807	kg	
	Natural gas Netherlands [Natural ga	Mass	0,00015675	kg	
	Natural gas Germany [Natural gas (r	Mass	0,00015616	kg	
	Sodium chloride (rock salt) [Non rene	Mass	0,00015554	kg	
	Zinc - lead - copper ore (12%-3%-2	Mass	0,00015494	kg	
	Soil [Non renewable resources]	Mass	0,00014924	kg	
	Hard coal Poland [Hard coal (resourc	Mass	9,1401E-005	kg	
	Hard coal South Africa [Hard coal (re	Mass	9,1185E-005	kg	
	Primary energy from wind power [R	Energy ren. (r	8,5605E-005	MJ	
	Natural gas Norway [Natural gas (re	Mass	8,4054E-005	kg	
	Hard coal USA [Hard coal (resource)	Mass	7,8466E-005	kg	
	Primary energy from solar energy [R	Energy ren. (r	7,4034E-005	MJ	

Outputs — Show all flows

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	6621,1	Bq
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	260,81	Bq
	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	95,905	Bq
	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water	Activity	2,9105	Bq
	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,0418	Bq
	Power (from Solar) [Electric power]	Energy ren. (n	1	MJ
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,83261	Bq
	Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,44815	Bq
	Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,37271	Bq
	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,25451	Bq
	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca	0,10883	MJ
	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water	Activity	0,082763	Bq
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,072664	kg
	Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,066162	kg
	Water (river water) [Water]	Mass	0,058854	kg
	Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water	Activity	0,04852	Bq
	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,046443	kg
	Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,038388	Bq
	Cooling water [Waste for recovery]	Mass	0,036088	kg
	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,029667	kg
	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,025629	Bq
	Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,024669	Bq
	Waste water (for treatment) [Flows]	Mass	0,017778	kg
	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca	0,016556	MJ
	Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,015146	Bq
	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,01158	kg
	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water	Activity	0,0096851	Bq
	Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0089688	Bq
	Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water	Activity	0,0088291	Bq
	Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0063962	Bq
	Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh wa	Activity	0,0059493	Bq
	Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,0035151	kg
	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0029692	Bq
	non used primary energy from water power [Other em	Energy ren. (n	0,0023039	MJ
	Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,002286	Bq

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

Grouping

Nation Type Enterprise User defined

(www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villeneregia_GreenCapital_osszefoglalas.pdf)

D Hatás- és kárkategóriák jellemzése

AP – *savasodási potenciál* (Acidification Potential): kg SO_2-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű SO_2 hatásával azonos (A többi érték a táblázatban található.)

EP – *eutrofizációs potenciál* (Eutrophisation Potential): kg foszfát-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű foszfát hatásával azonos (A többi érték a táblázatban található.)

GWP – *globális felmelegedési potenciál* (Global Warming Potential): kg CO_2-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű CO_2 hatásával azonos (A többi érték a táblázatban található.)

HTP – *humán toxicitási potenciál* (Human Toxicity Potential): kg DCB-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű diklór-benzol hatásával azonos (A többi érték a táblázatban található.)

POCP – *fotokémiai ózonképződési potenciál* (Photochemical Ozoncreation Potential): kg etilén-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű etilén hatásával azonos (A többi érték a táblázatban található.)

Anyag	AP
SO_2	1
NOx	0,7
HCl	0,88
HF	1,6
NH_3	1,88

Anyag	EP
foszfát	1
nitrát	0,42
ammónia	0,33
nitrogén-oxidok	0,13
KOI	0,022

Anyag	GWP_{100y}	Tartózkodási idő
CO_2	1	5-200
CH_4	11, 21, 23	10-15
NOx	296 – 310	115 - 120
HFC	400 – 12000	1-250
trikloro-metán	100	-
CFC	>5500	>2500
SF_6	3200	22200
egyéb VOC	11	-

Anyag	HTP
CO	0,01
NOx	0,78
SO_2	1,2
szénhidrogének	1,7
halogénezett szénhidr.	0,98
klórozott oldószerek, komponensek	0,29
cianidok	0,06
peszticidek	0,14
fenolok	0,05

Anyag	POCP
etilén	1
metán	0,007
egyéb szénhidrogének	0,416
aldehidek	0,443
sztirén	0,142
VOC	0,007

(http://kvk.bmf.hu/oktato/grollerg/LCA%20Konferencia/Eloadasok-pdf/01-Simon_Energetika.pdf)

Ózonréteg vékonyodás – kg CFC-11-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű CFC-11 hatásával azonos

Földi, tengervízi, édesvízi ökotoxicitás – kg DCB-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű diklór-benzol hatásával azonos

Erőforrások csökkenése – kg Sb-ekvivalensben adják meg; jelentése: adott mennyiségű antimon hatásával azonos

[E] Napelemmel termelt energia átvételi ára

(*http://www.eh.gov.hu/home/html/index.asp?hkl=217&lng=1&msid=1&sid=0)*