



Fotovoltaikus képzési levél - sziget üzemű napelemes rendszerek tervezése és méretezése

Dr. Barbara Tomaszewska

(PAS MEERI Krakow - Lengyelország)

Aleksandra Kasztelewicz

(PAS MEERI Krakow - Lengyelország)

Prof. Dr. Michael Hartmann

(SRH Hochschule Berlin – Németország)

Ing. Ec. Jürgen Weinreich

(SRH Hochschule Berlin – Németország)



Fotovoltaikus képzési levél - sziget üzemű napelemes rendszerek tervezése és méretezése

A sziget üzemű napelemes rendszer az alábbiakból áll:

- **Fotovoltaikus modulok**, amelyek a napenergiát közvetlenül **Wattban (W)** mért villamos energiává alakítják át. A modulok egy adott **U feszültségen (Voltban)** működnek és **elektromos áramot** biztosítanak (**Amperben**) . Ezeknek a mennyiségeknek az összefüggése $P = UI$.
- Az **akkumulátorok** a fotovoltaikus modulok által termelt energiát tárolják. Az akkumulátor kapacitása **Ah (amperóra)** .
- A **töltésvezérlő** megóvja az akkumulátort a túltöltéstől erős napsugárzás esetén, valamint a túlzott lemerüléstől (az ólomsavas akkumulátorokat nem szabad 50%-nál nagyobb mértékben lemeríteni, mert az élettartam jelentősen csökken). A töltésszabályozó teljesítményét az **Amperben (A) kifejezett áramerősség** adja.
- A **frekvenciaváltó** az akkumulátorokból érkező 12VDC-t (vagy nagyobb feszültséget, pl. 24 VDC vagy 48 VDC) 230 VAC-ra alakítja. A frekvenciaváltó **teljesítményét a Wattban (W) kifejtett teljesítmény** határozza meg.

Az alábbi lépések azt mutatják, hogyan lehet meghatározni az egyes komponensek méretét, valamint a fent leírt releváns paramétereiket.

Sziget üzemű napelemes rendszer méretezése

A) Elemezze az összes terhelést, például lámpák, TV stb. terhelését.

Példa

Terhelés	Feszültség U (Volt)	DC teljesítmény P_{DC} (Watt)	AC teljesítmény P_{AC} (Watt)	Napi üzemidő (h)	Napi energiafogyasztás E (Wh/d)
2 LED, 12 W, lakórészben	12 vagy 24	$2 \cdot 12 = 24$		3	72
1 LED, 12 W, műhelyben	230		$1 \cdot 12 = 12$	3	36
Hűtőszekrény	230		50		300
TV	230		50	2	100
Vízszivattyú	230		60	3	180
Laptop	230		50	5	250
Összesen		24	222		938

Ennek a rendszernek a végrehajtásához és az összes terhelés áramellátásához $24 \text{ W} + 222 \text{ W} = 246 \text{ W}$ összteljesítményre és 938 Wh energiaellátásra van szükség.

Ez a két mennyiség meghatározza a sziget üzemű napelemes rendszer összetevőinek szükséges méretét az alábbiak szerint.

B) Rendszerfeszültség és a töltésszabályozó mérete

A szabványos töltésvezérlők 12 V-al vagy 24 V-al működnek, amit a legmagasabb Amper értékek megfelelően kell kiválasztani.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{246 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 20.5 \text{ A}$$

Ha a rendszer 12 V-os és tartalékkal szeretnénk működtetni (ajánlott 25% tartalék), akkor egy 12V-os, 30A-es töltésszabályozót választanánk.

Ha 24 V-os rendszer mellett döntünk,

$$I = \frac{P}{U} = \frac{246 \text{ W}}{24 \text{ V}} = 10.25 \text{ A}$$

és 24V-os 15 A-es töltésszabályozót választhatunk.

Megjegyzés: A fenti esetben a töltésszabályozó kezdeti méretezése csak a terhelési szempont figyelembevételével történt. Ez az érték később a napelemes rendszer szempontjából is ellenőrizendő. Mindkét értéknek kisebbnek kell lennie a kiválasztott töltésszabályozó névleges teljesítményétől.

C) Akkumulátor mérete

Feltételezzük, hogy a lemerülés átlagosan 50%-os (DoD = 0,5), mivel egyéb esetben az akkumulátor élettartama csökken. Továbbá a felhős napokat pufferelni kell (általában 3 nap, D = 3). Az akkumulátor amperórában (Ah) kifejezett kapacitását az alábbiak szerint becsüljük meg

$$C = \frac{D \times E}{U \times DoD}$$

DoD - Lemerülés (átlag 0,5)

D - felhős tartalék napok száma (napokban kifejezve), más néven autonóm napok

E - energiaigény (Wh/d)

U - feszültség (általában 12 V, 24 V, 48 V)

Példa:

$$C = \frac{3 \text{ d} \times 938 \text{ Wh/d}}{12 \text{ V} \times 0.5} = 469 \text{ Ah}$$

Ha a rendszer 12V-os, pl. 4 db 120 Ah-s akkumulátort lehet csatlakoztatni párhuzamosan. (ajánlás: ne csatlakoztasson több mint 4 akkumulátort párhuzamosan).

Ha 24 V-os rendszer mellett döntünk

$$C = \frac{3 \text{ d} \times 938 \text{ Wh/d}}{24 \text{ V} \times 0.5} = 234.5 \text{ Ah}$$

Ebben az esetben két párhuzamosan összekapcsolt, sorba kötött akkumulátorszakaszt lehet telepíteni.

D) Inverter mérete:

Minden 230 V-os terhelést inverternek kell szállítania, összesen 222 Watt mértékben. Egy tipikus inverter mérete 300 W. A frekvenciaváltók 12 V_{DC} és 24 V_{DC} bemeneti feszültségre is alkalmasak.

E) Napelemes modul méretezése:

A napelemes modul mérete az alábbiak alapján kerül meghatározásra

$$P_{Peak} = \frac{E}{(1 - V_{temp})(1 - V_{sys}) E_{d,0}} = \frac{E}{E_d}$$

ahol

E – energiaigény kWh-ban

E_{d,0} - Átlagos napenergiás besugárzás kWh-ban egy adatbázisból kinyert 1 kWp referencia modul esetében

V_{temp} - A modul átlagos, hőmérséklet okozta vesztesége (minél magasabb a hőmérséklet, annál alacsonyabb a modul hatékonysága).

V_{sys} - A rendszer összes vesztesége (általában 14% = 0,14), amelyet az összekötő huzalok ohmos vesztesége, a töltésvezérlő, az inverter és az akkumulátorok veszteségei, valamint a napelemes modulok esetleges veszteségei okoznak, ha nem MPP-n működnek.

Az E_d-ben a második képletnél már minden veszteséget (V_{temp} és V_{sys}) figyelembe vettünk, azaz

$$E_d = (1 - V_{temp})(1 - V_{sys})E_{d,0}$$

Ha a PVGIS-t vesszük adatbázisként <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, a veszteségeket a bemeneti mátrixban lehet megadni (lásd az alábbi példát), és azonnal az E_d-t kapjuk meg kimenetként.

Példa:

A PVGIS használatával európai vagy afrikai-ázsiai régióknak a besugárzási adatait szerezhethetjük meg. Tema (Ghána) esetében a következő bemeneti adatok kerülnek meghatározásra a bemeneti maszk jobb oldalán található „PV Estimation” menüben (lásd: képernyőmentés):

- Megadott sugárzási adatbázis
- Napelem technológia: Kristályos szilícium
- Telepített napelem csúcsteljesítménye: 1 kWp
- Rendszer becsült veszteségei: 14% (ez a fenti képlet V_{sys} értéke)
- Rögzítés: Épületintegrált
- Dőlésszög: Dőlésszög optimalizálása
- Követésre nincs lehetőség (hagyja szabadon)
- Kimeneti beállítás: Web, Szöveg vagy Pdf

Ne feledje, hogy a hőmérsékletvesztesség (V_{temp}) automatikusan beszámításra kerül a PVGIS-be.

A következő kimenetet kapjuk:

Szélességi kör: 5°42'32" Észak,

Hosszúság: 0°17" Kelet

A napelem rendszer névleges teljesítménye: 1kWp

Modulok dőlésszöge: 7 fok

Modulok tájolása (azimut): 0 fok

Fix dőlésszög				
Hónap	Ed	Em	Hd	Hm
1	4.43	137	6.45	200
2	4.34	122	6.37	178
3	4.64	144	6.83	212
4	4.24	127	6.28	188
5	3.87	120	5.58	173
6	3.49	105	4.99	150
7	3.60	112	5.18	161
8	3.82	118	5.51	171
9	4.10	123	5.92	178
10	4.41	137	6.43	199
11	4.34	130	6.31	189
12	4.31	134	6.25	194
Év	4.13	126	6.01	183

Ed: Az adott rendszer átlagos napi villamosenergia-termelése (kWh)

Em: Az adott rendszer átlagos havi villamosenergia-termelése (kWh)

Hd: Az adott rendszer moduljai által kapott négyzetméterenkénti globális besugárzás átlagos napi összege (kWh/m²)

Hm: Az adott rendszer moduljai által kapott négyzetméterenkénti globális besugárzás átlagos összege (kWh/m²)

PVGIS (c) Európai Közösségek, 2001-2012

Ebből adódik, hogy a napsugárzás éves átlaga kb. $E_d = 4,13 \text{ kWh}/(\text{kW}_p \cdot \text{d})$ (lásd a sárga kimeneti számot), amely meghatározza a modul méretét.

$$P_{Peak} = \frac{0.938 \text{ kWh/d}}{4.13 \frac{\text{kWh}}{\text{kW}_p * d}} = 0.23 \text{ kW}_p$$

Választhatunk pl. két 12 VDC párhuzamosan kapcsolt 130 W_p modult. Az áram ebben az esetben $I = 260 \text{ W}_p / 12 \text{ V} = 22 \text{ A}$, amely megfelel a fenti töltésvezérlőnek (lásd B megjegyzés).

Alternatívaként egy 24 V-os 250 W_p modult is használhatunk, amely szintén együttműködik a 15 A-es töltésvezérlővel.

F) Kábelek méretezése

A kábelek méretezése a megfelelő keresztmetszet vagy hossz meghatározását jelenti a kábelveszteségek minimalizálása érdekében.

Minden kábelnek van egy bizonyos, R-el jelölt ellenállása, amely akadályozza az elektromos töltések szabad áramlását. Ez feszültségesítéshez vezet a kábelben. Az R villamos ellenállás mértékegysége az Ω szimbólummal jelölt Ohm, amely meghatározza a feszültségesítést (Voltban) egy meghatározott 1 amperes áram esetében:

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

Az ellenállás minden anyagra jellemző, és az L hosszától és a vezeték A keresztmetszetétől függ, az alábbi képletnek megfelelően

$$R = \frac{L \rho}{A}$$

ahol ρ az anyag úgynevezett fajlagos ellenállása. A vezeték 1 m hosszúságú és 1 mm² keresztmetszetű. Az általános értékek a táblázatokban találhatóak. Réz vagy alumínium esetében pl.

$$\text{Réz: } \rho_{Cu} = 0.0179 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Alumínium: } \rho_{Al} = 0.0294 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$$

A réz tehát jobb áramvezető anyag, mint az alumínium, mivel kisebb fajlagos ellenállással rendelkezik, ami magasabb vezetőképességet eredményez. (A vezetőképesség κ a specifikus ellenállás reciprokja, tehát $\kappa_{Cu} = 56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$ és $\kappa_{Al} = 34 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$). A következő példa a különböző kábel keresztmetszetek ellenállásának köszönhető hatékonyságcsökkenést mutatja.

Példa:

Tegyük fel, hogy a napelem modul és a töltésszabályozó közötti kábel 5 m hosszú. Mivel „+” és „-” vezetékéről beszélünk, a teljes hossz $L = 10m$. A következő példákban két különböző kábel keresztmetszet ellenállását és feszültségvesztését vizsgáljuk meg:

a) $A = 1.5 \text{ mm}^2$

$$R = \frac{L \rho}{A} = \frac{10m \times 0.0179 \Omega \text{ mm}^2/m}{1.5 \text{ mm}^2} = 0.12 \Omega$$

Feltételezzük, hogy a napelem modul feszültsége kb. $U = 12V$ és teljesítménye $P = 250W$. Ez $I = \frac{P}{U} = \frac{250W}{12V} = 20.8A$ áramerősséget jelent

Az ellenállás okozta $U_{\text{vesztés}}$ feszültségvesztés tehát $U_{\text{loss}} = R \times I = 0.12 \Omega \times 20.8 A = 2.5 V$

Ez $P_{\text{loss}} = U_{\text{loss}} \times I = 2.5 V \times 20.8 A = 52 W$ áramvesztést is okoz, ami a névleges teljesítményhez (250 W) képest körülbelül 21% -os teljesítményvesztést jelent.

b) Vizsgáljunk meg egy nagyobb keresztmetszetet $A = 6 \text{ mm}^2$

$$R = \frac{L \rho}{A} = \frac{10m \times 0.0179 \Omega \text{ mm}^2/m}{6 \text{ mm}^2} = 0.03 \Omega$$

Ez $U_{\text{loss}} = R \times I = 0.03V \times 20.8A = 0.624 V$ feszültségvesztést okoz amely csak $P_{\text{loss}} = U_{\text{loss}} \times I = 0.624 V \times 20.8A = 13 W$, azaz csak 5,2% áramvesztést eredményez.

Következtetés: Minél nagyobb a kábel keresztmetszete, annál kisebb a feszültség és a teljesítményvesztés. A gyakorlatban a teljesítményvesztést 1-3%-ra kell korlátozni.

Ezért a fenti képletekből kapjuk meg a megfelelő keresztmetszetet

$$A = \frac{L P_{PV} \rho}{0.03 U^2} = \frac{L P_{PV}}{0.03 \kappa U^2} = \frac{L I^2}{0.03 \kappa P_{PV}}$$

P_{PV} - modul névleges teljesítménye

U - modul névleges feszültsége

U - modul névleges áramerőssége

Példa: $L = 10 \text{ m}$, $P = 250 \text{ W}$, $U = 12 \text{ V}$

$$A = \frac{L P_{PV}}{0.03 \kappa U^2} = \frac{10m \cdot 250W}{0.03 \cdot 56m/\Omega \text{ mm}^2 \cdot 12^2 V^2} = 10 \text{ mm}^2$$

Ahhoz, hogy a kábelvesztéseket 3%-ra korlátozzuk, 12 V-os rendszerfeszültség esetén 10 mm² keresztmetszetre van szükség.

24 V esetében

$$A = \frac{L P_{PV}}{0.03 \kappa U^2}$$

$$= \frac{10m \cdot 250W}{0.03 \cdot 56m/\Omega mm^2 \cdot 24^2 V^2} = 2.6 mm^2$$

A fotovoltaikus kábelek szabványos méretei a következők:

0.75 mm²
 1.5 mm²
 2.5 mm²
 4.0 mm²
 6.0 mm²
 10.0 mm²
 16.0 mm²
 35.0 mm²

A gyakorlatban a következő ábrák 12V-os vagy 24V-os napelem rendszer esetén használhatók a kábel keresztmetszetének meghatározásához.

Napelem modulok esetében a kábelek általában 4 mm² vagy 6 mm² keresztmetszetűek. Fix kábel keresztmetszetek használatakor a napelem modulok és a töltésszabályozó közötti hosszak a lehető legrövidebbnek kell lennie. A hosszúság a fenti képlet alapján is megbecsülhető

$$L = \frac{0.03 A \kappa U^2}{P_{PV}}$$

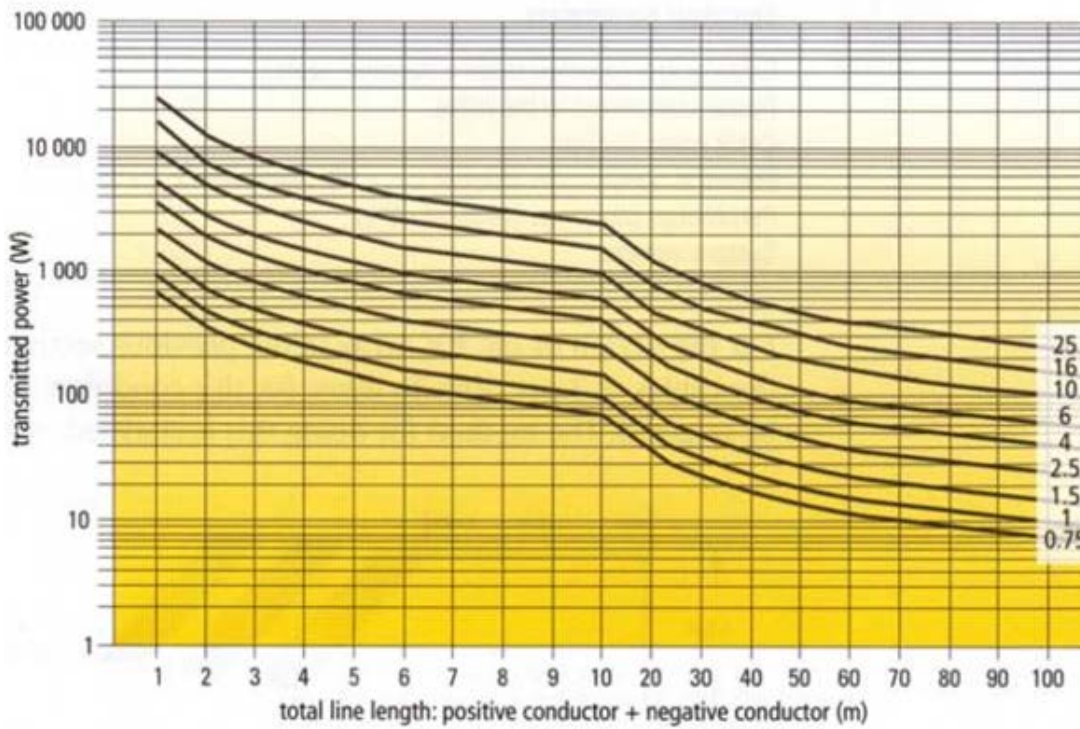
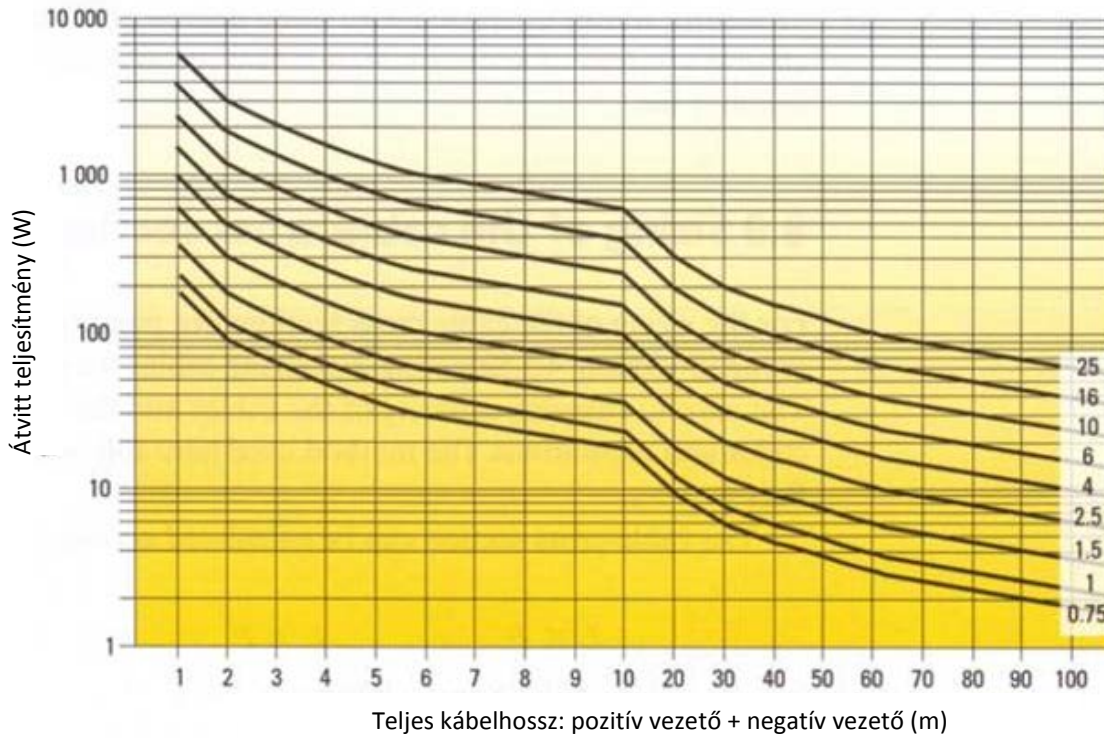
Példa: 4 mm² kábel keresztmetszet esetében pl.

12 V-os rendszerfeszültség: L_{max} = 3,8 m

24 V-os rendszerfeszültség: L_{max} = 15 m

Így tehát, ha a napelem modulok és a töltésvezérlő között hosszú vezetésekre van szükség, a rendszerfeszültségnek 24 V-nak kell lennie.

Kábel keresztmetszete 12V-os rendszer esetén: 3%-os kábelveszteség



Kábel keresztmetszete 24V-os rendszer esetén : 3%-os kábelvesztés

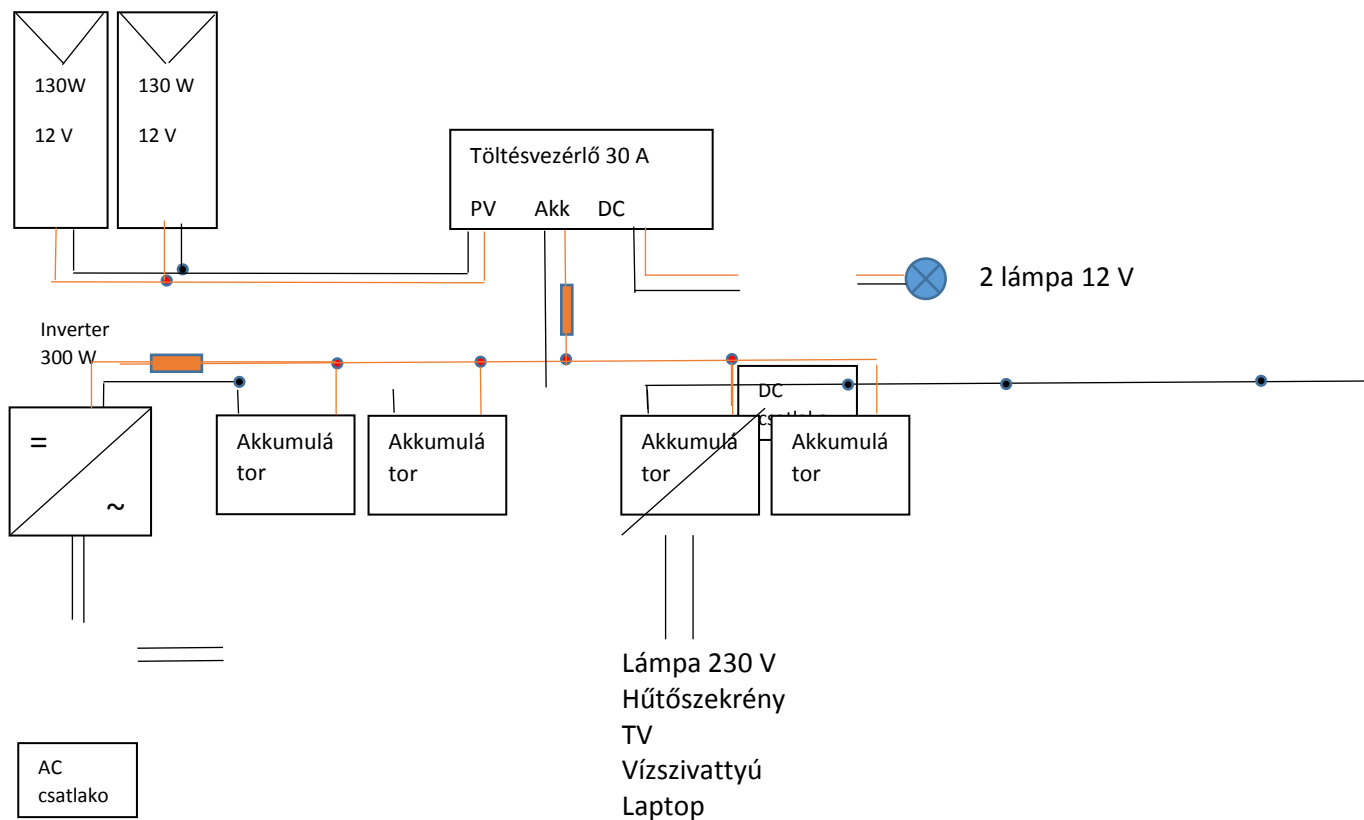
G) iztosíték **B**
 Átvitt teljesítmény (W) **A**
 ztos

ítékok arra szolgálnak, hogy megvédjék a rendszert a meghibásodásból eredő túláramtól. A biztosítékok teljesítménye a legnagyobb megengedett áramerősségre, azaz 12 V-os rendszer esetén 30A-re, 24 V-os rendszer esetén pedig 15A-re van kiválasztva.

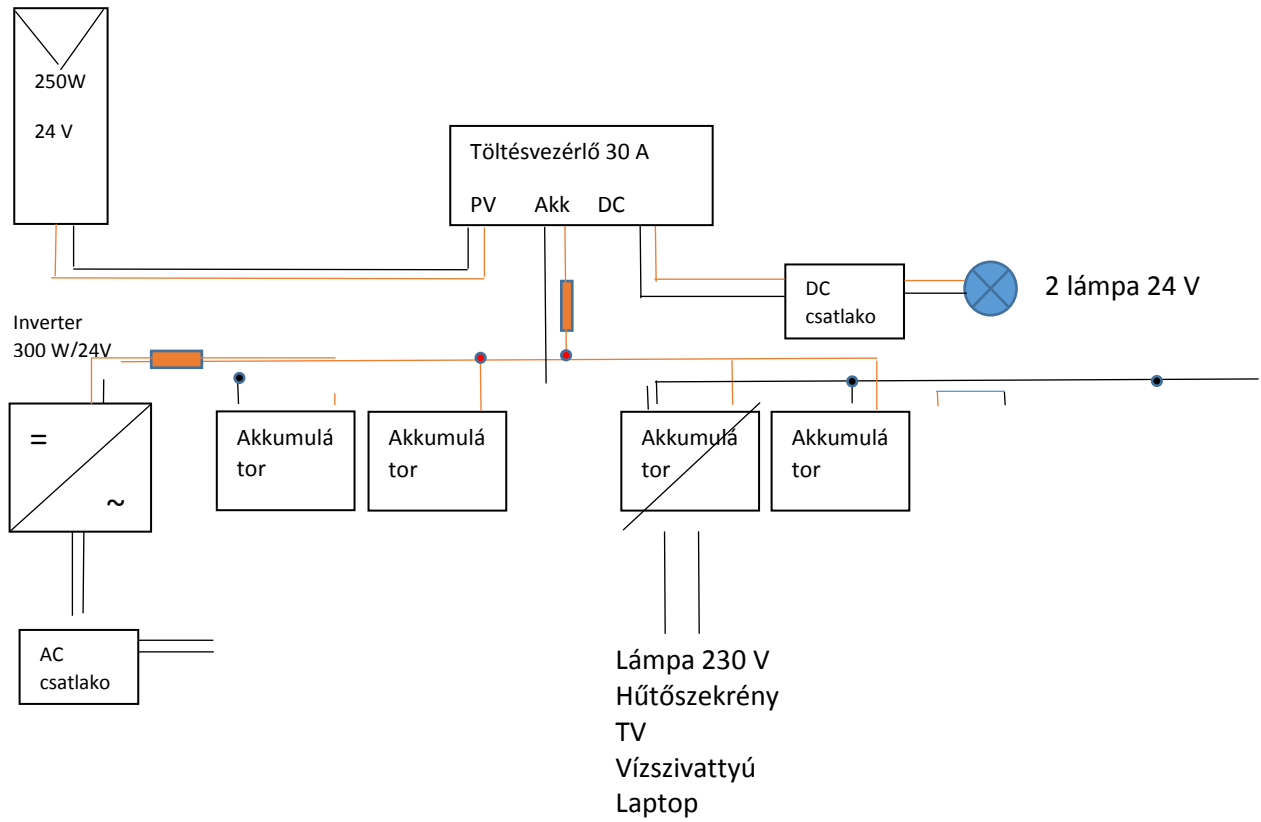
H) Rendszerdiagram

Példa:

a) Komplettszigetüzemű napelem-rendszer, 12V



b) Komplettszigetüzemű napelem-rendszer, 24V



Tervezési és méretezési sablonok**A) Elektromos fogyasztáselemzés**

Terhelés	Feszültség U (Volt)	AC teljesítmény P_{AC} (Watt)	DC teljesítmény P_{DC} (Watt)	Napi üzemidő (h)	Napi energiafogyasztás E (Wh/d)
Összesen					

B) Rendszerfeszültség és a töltésszabályozó mérete

$$I = \frac{P}{U}$$

C) Akkumulátor mérete

$$C = \frac{D \times E}{U \times DoD}$$

DoD - Lemerülés (átlag 0,5)

D - felhős tartalék napok száma (napokban kifejezve)

E - energiaigény (Wh/d)

U - feszültség (általában 12 V, 24 V, 48 V)

D) Inverter mérete:E) Napelemes modul méretezése:

$$P_{Peak} = \frac{E}{E_d}$$

F) Kábelek méretezése

G) Biztosítékok

H) Rendszerdiagram