

-Упутство за прорачун соларног напајања-



Децембар 2009.

- Б е о г р а д -

aleksandar.radonjic@srbrail.rs

» Ј.П. Железнице Србије «

Прорачун соларног напајања

Циљ овог упутства је да онима који желе да изграде аутономан систем соларног напајања пружи основне смернице о томе на који начин се врши прорачун фото-напонског извора напајања.

Уво упутство није намењено почетницима и неће се бавити описом соларног система напајања, његовим карактеристикама и начинима реализације. Уколико немате основна знања из ове области боље је обратити се стручним лицима која ће сагледати све ваше потребе и предложити вам најоптималније решење.

Уколико имате основна знања о начину рада соларних извора напајања ово упутство вам може помоћи да дођете до исправног решења које ће задовољити ваше потребе.

-Прорачун потрошње-

Ово је први корак од којег се полази када се прорачунава овакав систем. Потребно је до детаља сагледати све режиме рада уређаја који се напајају. Било да је у питању напајање стамбеног објекта у руралним срединама, напајање удаљеног телеметријског уређаја, удаљеног радио-комуникационог уређаја, система видео-надзора, периметарске заштите..., потребно је сагледати теоријски најнеповољнији режим рада система који се напаја. Најнеповољнији услов значи да је потребно сагледати режим рада потрошача када он троши највише електричне енергије.

Као пример, у следећој табели, дат је приказ режима рада једне VHF фиксне радио-станице у часу главног оптерећења (Ч.Г.О.)

Радни режим	Јачина струје при 12V DC	Трајање режима рада у Ч.Г.О.	Потрошња струје (Ah) за 1 час $[\frac{(3)}{3600} \cdot (2)]$
(1)	(2)	(3)	(4)
Предаја	11А	90 секунди	0,275Ah
Пријем модулисаног сигнала	2А	720 секунди	0,4Ah
Пријем немодулисаног сигнала	0,4А	2790 секунди	0,31Ah

Нажалост не постоји дефинисан математички модел који би аутоматизовао рачунање потрошње неког уређаја у часу главног оптерећења. Овај рачун се своди на добру инжењерску процену и познавање система који се пројектује. Из горње табеле следи да је у току једног часа потрошња фиксне радио-станице 0,985 А (~1А). Како је циљ сагледати укупну потрошњу свих уређаја у току 24 часа и то у најнеповољнијем експлоатационом услову, усвојићемо да се током 24 часа све време обавља вршни радио-саобраћај, односно да је током дана све време час главног оптерећења. На основу овога долазимо до закључка да је дневна потрошња струје нашег потрошача $I_o = 24Ah$. Имајући у виду да се потрошач напаја једносмерним напонем $U_o = 12V$, долазимо до податка о дневној потрошњи електричне енергије која износи $P_o = U_o \cdot I_o = 12V \cdot 24Ah = 288Wh$.

У овом примеру временска јединица посматрања био је час због специфичности рада фиксне радио-станице. Навешћемо још један пример како би се прорачунала потрошња уређаја у неком објекту у руралној средини (викендица). Овде ће нам временска јединица посматрања бити период од 24 часа.

Најпре морамо сагледати све потрошаче у објекту и доћи до податка о њиховим режимима рада. Савет свима који објекат опремају оваквим видом напајања је да сви потрошачи раде на $12VDC$, уколико је то могуће. Разлог овоме је што у том случају нема потребе за инвертором $12VDC/220VAC$, а који је сам по себи потрошач. Преглед потрошача у посматраном објекту може бити овакав:

1. Потрошач – штедљива сијалица у дневном боравку $18W @ 12VDC$ која ће бити укључена од 16 часова поподне до 22 часа увече, дакле 6 часова дневно.
2. Потрошач – штедљива сијалица $10W @ 12VDC$ у спаваћој соби која ће бити активна максимално 1 час дневно.
3. Потрошач – штедљива сијалица $12W @ 12VDC$ у тоалету која ће бити активна максимално 1 час дневно.
4. Потрошач – штедљива сијалица $12W @ 12VDC$ у предсобљу која ће бити активна максимално 2 часа дневно.
5. Потрошач – LCD 15“ TV апарат $50W @ 12VDC$ у дневној соби који ће бити активан максимално 4 часа дневно.
6. Потрошач – пуњач мобилног телефона $12W @ 12VDC$ који ће бити активан 2 часа сваки други дан, што је просечно 1 час дневно.

На основу овакве анализе можемо прорачунати дневну потрошњу електричне енергије свих потрошача у објекту:

Потрошач	Снага [W]	Време рада [h]	Дневна потрошња [Wh]
1.	18[W]	6[h]	108[Wh]
2.	10[W]	1[h]	10[Wh]
3.	12[W]	1[h]	12[Wh]
4.	12[W]	2[h]	24[Wh]
5.	50[W]	4[h]	200[Wh]
6.	12[W]	1[h]	12[Wh]

Сумирањем резултата из последње колоне долазимо до податка да је укупна дневна потрошња 366[Wh] дневно.

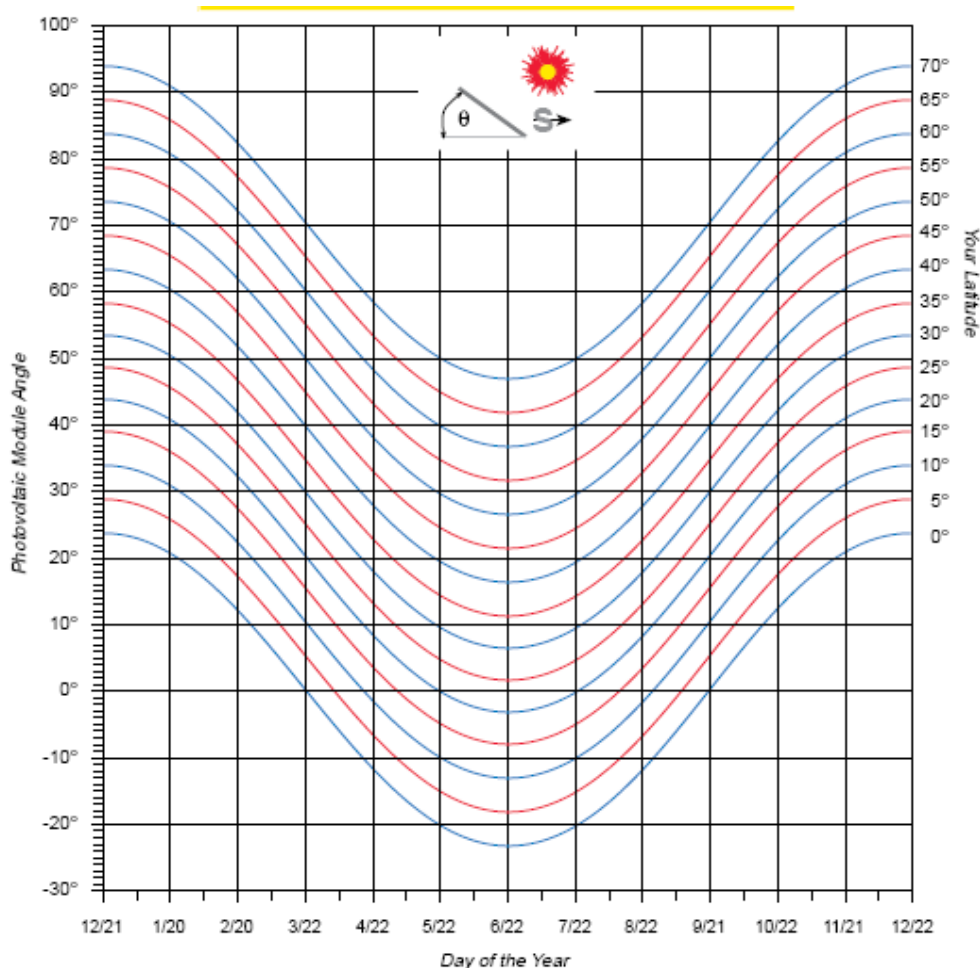
Уколико постоји потреба за инвертором $12VDC/220VAC$ његова потрошња и режими рада се морају узети у обзир током прорачуна потрошње.

-Азимут и елевација-

Најоптималније искоришћење фото-напонског панела добија се када се панел монтира на носач са променљивим углом азимута и елевације. Контролер током дана подешава најоптималнији угао орјентације панела. Како су овакви контролери и носачи сувише скупи, најчешће се прихвата варијанта монтаже панела на фиксном носачу при чему се панел по азимуту усмерава на југ.

Када је у питању угао елевације он зависи од доба године. Наиме у летњим месецима бира се мањи угао елевације док је у зимским месецима овај угао већи (панел је више нагнут ка хоризонту). На доњем графику приказан је најоптималнији угао елевације у зависности од доба године и северне географске ширине на којој се панел налази.

Уколико се одабере конструктивно најпростија варијанта да се панел монтира на фиксном носачу без могућности промене елевације руководимо се опет критеријумом најнеповољнијег услова. Најмањи интензитет сунчевог зрачења је у децембру и јануару. Ако се панел, на пример, налази на 45° степени северне географске ширини са графика читавамо да је најоптималнији угао елевације за децембар и јануар месец 64° . Битно је напоменути да је ово угао од хоризонталне равни.



- Прорачун најоптималнијег угла елевације и интензитета сунчевог зрачења-

Захваљујући подацима Центра за обједињена истраживања европске комисије (European Commission – Joint Research Center) који су доступни на веб адреси <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?ngla=en&map=europe> могуће је одредити месец са најмањим интензитетом сунчевог зрачења као и најоптималнији угао елевације панела за тај месец.

На поменутој веб адреси потребно је изабрати следеће ставке:

1. У првом горњем левом фрејму потребно је одабрати опцију *Optimal inclination angle*. У доњем левом фрејму потребно је уписати географске координате локације на којој се монтира соларни панел. У нашем примеру нека то буде тачка $45^\circ 00' 00''\text{N}$ $21^\circ 00' 00''\text{E}$ која се налази у Јужном Банату. Кликом на командно дугме *Show* појавиће се *PoUp* прозор са следећом табелом:

Month	Optimal inclination (deg.)
Jan	63
Feb	56
Mar	44
Apr	29
May	16
Jun	11
Jul	15
Aug	26
Sep	41
Oct	54
Nov	62
Dec	64
Year	35

Како је на нашем подручју месец децембар са најнижим интензитетом сунчевог зрачења одабраћемо да је елевациони угао панела 64° у односу на хоризонталну раван.

У оквиру овог *PoUp* прозора даље је потребно одабрати линк 2) *Estimate the PV electricity generation*. У *PoUp* прозору који ће се отворити, у оквиру опције *Module inclination [0,90]* упишите жељени угао (у нашем случају то је 64°) и чекирати опцију *Show also the in-plane irradiation*. Након тога потврдити кликом на командно дугме *Submit*. На дну овог прозора појавиће се следећа табела:

In-plane irradiation for: Inclination=64 deg., Orientation=0 deg.		
Month	Irradiation per month (kWh/m ²)	Irradiation per day (kWh/m ²)
Jan	67	2.2
Feb	84	3.0
Mar	118	3.8
Apr	125	4.2
May	137	4.4
Jun	132	4.4
Jul	147	4.7
Aug	155	5.0
Sep	144	4.8
Oct	124	4.0
Nov	76	2.5
Dec	58	1.9
Yearly average	114	3.7
Total yearly irradiation (kWh/m ²)	1367	

На основу података из ове табеле долазимо до битних параметара за наше даље прорачуне односно до констатације да просечан интензитет сунчевог зрачења у децембру месецу износи $H = 1900Wh/m^2$ дневно (Irradiation per day (kWh/m2)).

Овде је важно напоменути да угао од 64° није најоптималнији угао по питању искоришћења панела током године. Како је наш почетни циљ био да обезбедимо поуздано напајање током целе године ми смо нашу пажњу фокусирали на најнеповољнији месец и панел смо смо подесили на елевациони угао од 64° степена како би у најнеповољнијем месецу извукли максимум електричне енергије из панела. Да смо, којим случајем, прорачунавали систем који би требао да произведе максимум електричне енергије током године панел би се подесио на елевациони угао од 34° степена што се може прочитати из последњег реда прве табеле. У овом случају претходна табела би изгледала овако

In-plane irradiation for: Incl.=34 deg., Orient.=0 deg.		
Month	Irradiation per month (kWh/m2)	Irradiation per day (kWh/m2)
Jan	60	2.0
Feb	80	2.9
Mar	123	4.0
Apr	143	4.8
May	171	5.5
Jun	172	5.7
Jul	189	6.1
Aug	184	5.9
Sep	153	5.1
Oct	120	3.9
Nov	69	2.3
Dec	52	1.7
Yearly average	126	4.2
Total yearly irradiation (kWh/m2)	1515	

Овде видимо да је укупна годишња снага сунчевог зрачења на панелу за 10% већа при елевацији од 34° него при елевацији од 64° . Али на овај начин, у најнеповољнијем месецу, добили би смо чак 11% енергије мање сунчевог зрачења током дана. Да би смо ово компензовали морали би смо да узмемо 11% више снаге соларног панела што представља трошак.

Ово објашњење служи само да скрене пажњу да значење термина „оптимални угао“ зависи од тачке посматрања и нашег конкретног техничког проблема.

- Прорачун снаге фотонапонског панела-

Снага фото-напонског панела изражава се у јединицама W_p (Watts peak) и представља снагу електричне енергије коју панел генерише при интензитету сунчевог зрачења од $1000W/m^2$. Да би наставили са даљим прорачунима морамо најпре израчунати такозвани „средњи број сати вршног сунца“ у најнеповољнијем месецу. Математички посматрано вршимо нормализацију снаге сунчевог зрачења у односу на референтну вредност од $1000W/m^2$. Средњи број сати вршног сунца рачунамо по формули:

$$N_{PS} = \frac{H(Wh/m^2)}{1000(W/m^2)} = \frac{1900(Wh/m^2)}{1000(W/m^2)} = 1,9h$$

Посматрајмо даље да је ефикасност регулатора пуњења $E_{REG} = 90\%$ и да је ефикасност батерија $E_{BAT} = 90\%$ (ово је само пример, конкретни подаци се добијају из каталога произвођача регулатора пуњења и батерија). Снага соларног панела $P(Wp)$ који под овим условима мора да обезбеди напајање фиксне радио-станице чија је дневна потрошња $P_o = 288Wh$, износи

$$P(Wp) = \frac{P_o}{N_{PS} \cdot E_{REG} \cdot E_{BAT}} = \frac{288Wh}{1,9h \cdot 0,9 \cdot 0,9} = \frac{288Wh}{1,5391h} = 187W_p$$

Из овога произилази да је потребно уградити два фото-напонска панела снаге од по $100W_p$ јер се као такви могу наћи на тржишту.

У другом примеру, где смо се бавили прорачуном потрошње у стамбеном објекту у руралној средини, и где је дневна потрошња износила $P_o = 366Wh$, прорачун снаге фото-напонског панела изгледао би овако

$$P(Wp) = \frac{P_o}{N_{PS} \cdot E_{REG} \cdot E_{BAT}} = \frac{366Wh}{1,9h \cdot 0,9 \cdot 0,9} = \frac{366Wh}{1,5391h} = 237,8W_p$$

Из овога произилази да је потребно уградити два фото-напонска панела снаге од по $100W_p$ и један снаге $50W_p$ јер се као такви могу наћи на тржишту.

-Прорачун капацитета батерија-

Када је у питању капацитет батерије потребно је унапред дефинисати услов расположивости система. Овде такође нема разрађене методологије који критеријум одабрати. У зависности од тога колико је битно функционисање система који се прорачунава, дефинисаћемо критеријум колико времена батерије морају пружити аутономије рада потрошачима у условима „тоталног мрака“ односно у условима када панел не генерише никакву струју пуњења.

За потребе овог прорачуна посматраћемо случај 2 узастопна дана „тоталног мрака“ односно 2 дана без енергије сунчевог зрачења или друге врсте отказа на панелу ($N_{SOL} = 2$).

Што се напона батерије тиче већ смо усвојили да је у питању напон $V_{BAT} = 12V$.

Следећи параметар који је битан за рачун је ефикасност батерија. Наиме батерије нису у стању да ускладиште сву електричну енергију коју добију. Део енергије се троши на одвијање електро-хемијских процеса и ослобађа се у виду топлоте. Овај фактор се добија из каталога произвођача а за потребе овог прорачуна усвојићемо вредност од $E_{BAT} = 80\%$.

Када се батерија празни напајајући потрошач, не сме се никада дозволити да се батерија испразни до краја. О овоме води рачуна регулатор пуњења чија је улога да почне да пуни батерију када се испразни до дозвољене дубине пражњења. Регулатор пуњења, такође,

прекида довод струје ка потрошачима ако се батерија испразни испод критичне границе како би сачувао батерију.

У складу са овим потребно је дефинисати такозвану дубину пражњења батерија. Када је батерија напуњена на 100% свог капацитета кажемо да је дубина пражњења батерије у том тренутку $D_{BAT} = 0\%$. Како се батерија празни расте и дубина пражњења. Нема генералне препоруке о томе колики овај фактор треба да буде. Што више дозвољавамо батерији да се испразни то ће њен радни век бити мањи али ће нам у том случају требати и батерија мањег капацитета. Што мање дозволимо батерији да се испразни она ће нам дуже трајати али нам у том случају треба батерија већег капацитета. Неке генералне препоруке што тиче се максималне дубине пражњења батерије су следеће:

Maximum Depth of Discharge	
Battery Type	Default Value
Lead Acid Shallow Cycle	25%
Lead Acid Deep Cycle	75%
Nickel Cadmium	90%

У нашем примеру усвојићемо да максимална дозвољена дубина пражњења батерије $D_{BAT} = 80\%$.

Имамо још један параметар а то је такозвана деградација капацитета батерије услед пада температуре Ct_{BAT} . Називни капацитет батерије који декларише произвођач односи се на температуру амбијента од 20°C. Падом температуре смањује се и расположиви капацитет батерије. За одређивање овог фактора битно је познавати температуру амбијента у зимским условима и зависност капацитета батерије од температуре. Уколико нам нису познати подаци произвођача може се усвојити рачуница да капацитет батерије опада за 1% са падом температуре за 1°C испод 20°C. У нашем примеру усвојићемо да батерија у зимским условима ради на температури од 5°C што значи да је њен расположиви капацитет услед пада температуре деградиран на вредност од $Ct_{BAT} = 85\%$.

На основу ових података можемо израчунати потребан капацитет батерије на основу следеће формуле:

$$Q_{BAT} (Ah) = \frac{P_o (Wh) \cdot N_{SOL}}{V_{BAT} (V) \cdot E_{BAT} \cdot D_{BAT} \cdot Ct_{BAT}} = \frac{288Wh \cdot 2}{12V \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,85} = \frac{576Wh}{7,34V} = 78,4Ah$$

Пракса је да се у овом случају бира први већи стандард. Међутим пошто се на тржишту могу наћи батерије капацитета 75Ah можемо усвојити ову вредност за батерију јер је незнатно мања од потребног капацитета добијеног прорачунима.

Важно је напоменути да се приликом пуштања потрошача у рад практикује да батерија буде напуњена на 100% свог капацитета.

-Закључак-

Са становишта коришћења алтернативних извора електричне енергије и заштите животне средине води се велика полемика о томе да ли су соларни панели прихватљиво решење. Разлог овоме је чињеница да енергија утрошена за израду фотонапонског панела, регулатора пуњења, спојних проводника и батерија премашује енергију коју ће панел у најповољнијим климатским условима произвести током свог радног века. С друге стране електрична енергија произведена фото-напонским панелом, са аспекта заштите животне средине, сматра се најчистијом енергијом.

Оно што инжењере приморава и наводи да се одлуче за фото-напонски систем напајања је најчешће чињеница да је то једини вид „стабилног“ напајања неког удаљеног уређаја.

Пример који је пратио ово упутство, а везан је за напајање фиксне радио-станице, реализован је из разлога што би довођење дистрибутивне мреже на ту локацију коштало око 30.000 EUR. Комплетни трошкови опреме и уградње фото-напонског панела нису премашили износ од око 800 EUR. Развојем технологије реално је очекивати да цена панела и батерија временом опада.

У штампаној и електронској литератури могу се наћи начини прорачуна који у мањој мери одступају од начела објашњених у овом упутству. Такође фирме које се баве продајом и уградњом опреме соларног напајања ваш систем могу прорачунати тако да се капацитет батерија и снага фото-напонских панела разликује од вредности добијених према овом упутству. Разлог томе су различити улазни подаци и различити математички модели који се користе. Међутим исправно прорачунат систем напајања не би требало да одступа за $\pm 5\%$ у односу на резултате који би се добили рачунањем битних величина у складу са овим упутством.

Надам се да је свима који су прочитали ово упутство оно било од користи. Свима који планирају уградњу фото-напонског панела желим пуно среће, а онима који имају овакав систем у експлоатацији желим што мање смењи.

Сва питања, коментаре и сугестије у вези овог упутства можете ми послати на Е-mail aleksandar.radonjic@srbrail.rs