



МК0300038

Кирил И. Коцев, Димитар Димитров
Електротехнички факултет – Скопје

Ѓорѓи Туцаров
Електростопанство на Македонија

ЕЛЕКТРИФИКАЦИЈА ВО РУРАЛНИ ПОДРАЧЈА СО ХИБРИДНИ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

Кратка содржина: Зависно од дневната потрошувачка на електрична енергија, оддалеченоста и од енергетскиот потенцијал на сончевото зрачење, електрификација на рурални села со хибриден фотоволтаичен систем може да биде поефтино решение од електрификација со поврзување на електрична мрежа. Покрај ΦB генератор, разгледуваниов хибриден систем има акумулаторска батерија и дизел агрегат. На конкретен пример, рурално село со потрошувачка 15,5 kWh/ден, со програмот *PVFORM* (модифициран за нашите анализи) се симулирани перформансите на повеќе стотини хибридни ΦB системи, со различни големини на ΦB генератор и на капацитет на батеријата. Со анализа на овие резултати може да се согледа влијанието на компонентите врз функционалноста на системот. Од множеството можни е избран функционален хибриден ΦB систем за чија реализација е потребна почетна инвестиција 42 % помала од онаа потребна за поврзување на селото на мрежа

Клучни зборови: електрификација, рурални села, електрична мрежа, хибриден ΦB систем, почетна инвестиција

Abstract: Depending on a daily load demand, distance from the utility grid and the available solar energy, the rural villages electrification with a hybrid photovoltaic (*PV*) system can be a cheaper solution than the classic electrification by connecting them to the utility grid. Besides *PV* generator, the considered hybrid system is consisted of a battery and a diesel genset. For the concrete case – rural village with estimated daily load demand of 15.5 kWh/day, with the computer program *PVFORM*, which is modified for such hybrid system, were simulated a few hundreds *PV* systems, with different sizes of the *PV* generator and of the battery capacity. Analyzing the obtained results, it can be foreseen the influence of the component size on the system functionality. From the mass of possible system combinations, it is chosen one that has 42 % lower initial investment, than the initial investment for connection of the village to the utility grid.

Key words: electrification, rural villages, utility grid, hybrid photovoltaic system, initial investment

1. ВОВЕД

Електрификација, покрај со поврзување на мрежа, во рурални подрачја може да се изведе и на нестандартен начин, со хибриден фотоволтаичен систем. Тој нуди речиси еднакви можности како и при електрификација со поврзување на електрична мрежа [1] Разгледуваниов хибриден ΦB систем содржи ΦB генератор, акумулаторска батерија и дизел агрегат. При дизајнирање на системот се разгледува неговата конфигурација, се одредува големината на компонентите како и режимот на работа на агрегатот, заради добивање функционален ΦB систем чија цена е помала од цената на електрификација при поврзување на мрежа.

Во реални работни услови компонентите се однесуваат нелинеарно, поради што димензионирањето на системот се усложнува. Еден од можните методи за димензионирање е со симулација на перформансите за различни големини на системот [2]. Оптимирањето на системот, особено кога потрошувачите имаат посложена структура, може да се постигне со одредена стратегија за нивно контролирано вклучување/исклучување [3, 4].

Од 1988 година до сега, во руралните подрачја во Македонија се електрифицирани повеќе од 160 села. Електрификацијата се изведува така што 10 kV напон се доведува до селото, се трансформира (трансформатор 10/0,4 kV, 50 kVA), и до потрошувачите се носи еднофазна, а ретко трифазна мрежа. Овие инвестиции финансиски се неисплатливи, а може да се оправдат со очекувани позитивни социолошки, економски и стратешки ефекти.

Електрификацијата нуди можности за квалитативна промена на начинот на живеење. Според сознанијата, кај веќе електрифицираните рурални села понудените можности многу малку се искористени. По правило, во овие села живеат постари луѓе кои тешко го менуваат начинот на живеењето. Најчесто има поставено една до две светилки и фрижидер, а поедини домаќинства имаат и телевизор, којшто не се користи секој ден. Потрошената електрична енергија достигнува до 50 kWh месечно по домаќинство.

Руралните села се од збиен тип, каде куќите се оддалечени до 100 m, или се од раштркан тип, каде една од друга се оддалечени и до 1 km. Впечатлив е примерот во с. Дренок

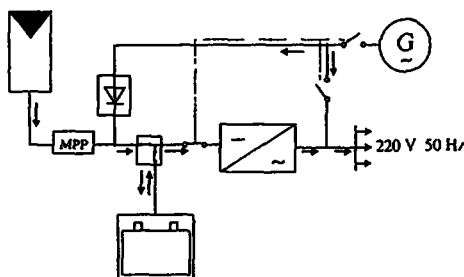
Крива Паланка, кое е од раштркан тип, со само 15 потрошувачи, каде 10 kV далноводот е долг 20 km, а 220 V мрежата е долга 13 km. При електрификацијата се опфатени и села со поголем број на домаќинства, со значителна потрошувачка на електрична енергија, каде што класичниот начин е правилно решение за електрификација. Примерот со с. Дренок е наведен за да се добие претстава за должините на електричната мрежа при електрификацијата на некои од руралните села. Но, независно од очекуваната потрошувачка, цена на електрификацијата е соодветна на овие должини.

Во овој труд, инвестициите и ефектите од електрификацијата се ставаат во корелација со енергетските можности и цената на хибридниот ФВ систем, заради истакнување на фактот дека во некои случаи овие системи се финансиски поисплатливо решение.

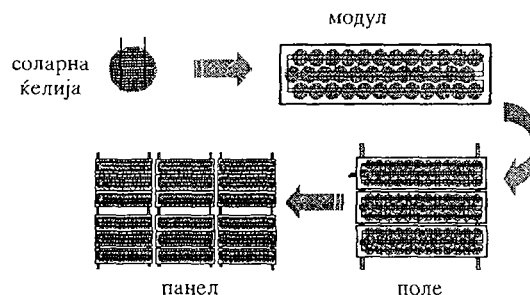
2. ЕЛЕКТРИФИКАЦИЈА СО ХИБРИДЕН ФВ СИСТЕМ

Во овој труд се разгледува хибриден фотоволтаичен систем кој содржи ФВ генератор, дизел агрегат и акумулаторска батерија. Други функционални компоненти во системот се инвертор и контролер на наполнетост на батеријата со барач на максимална моќност на панелот, сл. 1. Барачот на максимална моќност е DC/DC конвертор, кој овозможува во секој миг да се искористи максималната моќност на ФВ генераторот. Хибриден ФВ систем со ваква структура обезбедува стандарден напон, 220 V, 50 Hz.

Основна енергетска единица во ФВ генераторот е соларна ќелија, сл. 2. Во неа, врз законите на квантната механика, енергијата на сончевото зрачење директно се трансформира во електрична. Конструктивна единица на ФВ генератор е модул кој содржи 33-40 сериско поврзани соларни ќелии. Повеќе модули поврзани сериско/паралелно формираат поле. Со соодветно поврзување на повеќе ФВ полиња се постигнува потребната моќност на ФВ генераторот, која може да изнесува од неколку вати до повеќе мегавати.



Сл. 1 Хибриден фотоволтаичен систем



Сл. 2 Елементи на фотоволтаичен генератор

Електрификацијата може да се изведе како централна, со еден хибриден ΦB систем, во села од збиен тип, а во раштрканите села за секое домаќинство може да се изведе соодветен систем.

3. ЦЕНА НА ЕЛЕКТРИФИКАЦИЈАТА

На примерот на с. Врбица - Кратово, предвидено за електрификација оваа година, се споредени цените на електрификација со поврзување на електрична мрежа и со хибриден ΦB систем. Ова е планинско село, на речиси 1000 m надморска висина. Селото има три куќи во едно маало и четири во друго, на друг рид, на 1 km оддалеченост. Според досегашното искуство, очекуваната инсталирана моќност во селото нема да биде повеќе од 2 kW, а вкупно потрошената електрична енергија не повеќе од 500 kWh/месец, што е далеку под номиналната моќност на трансформаторот и капацитетот на мрежата.

3.1 Електрификација со поврзување на електрична мрежа

До селото треба да се постави 10 kV далновод долг 3 km, а толку треба да биде долга и 220 V мрежата. Теренот е каменит и е непогоден за поставување бетонски столбови. За с. Врбица веќе е направена спецификација на потребната опрема, вклучувајќи ја и цената на електрификацијата со поврзување на мрежа, таб. 1.

Таб. 1 Преглед на цената за електрификација на с. Врбица

	ед мера	количина	цена
бетонски столбови (разни)	парче	112	41508
AL-Ce јаже 35/6 mm ²	kg	3000	20308
трака Fe-Zn 25x4 mm ²	kg	800	1538
изолатори (разни)	парче	440	3785
носачи (разни)	парче	440	3417
изолаторска верига	парче	6	1071
НН конзоли	парче	80	4177
раставувач	парче	2	7308
СТС 10/0,4 kV	парче	1	17269
ЕТН 10/0,4 kV, 50 kVA	парче	1	4577
кабел СКС 2x16 mm ²	m	1000	2308
раб рака за далновод и НН мрежа	km	3+3	37500
раб рака за СТС	парче	1	3462
вкупно (DEM):			144.520

3.2 Електрификација со хибриден фотоволтаичен систем

Поради оддалеченоста на двете маала во с. Врбица, поефтино е електрификацијата да се изведе со два независни хибридни ΦB системи.

Се претпоставува дека во секое домаќинство ќе има една светилка, фрижидер и телевизор. Нивните моќности и дневното времетраење на вклученост се дадени во таб 2, со напомена: фрижидерот чија моќност е 125 W, кој работи со прекини или приближно вкупно 12 часа дневно, е третиран како потрошувач со константна моќност 62,5 W, вклучен цел ден. Поради сличната динамика на секојдневието, се претпоставува дека соодветните потрошувачи во четирите домаќинства се вклучени истовремено. Од аспект на истовремена оптовареност, ова е понеповолен режим на работа на хибридниот ΦB систем, но затоа на резултатите од димензионирањето може да се гледа со поголема сигурност.

Таб. 2 Потрошувачи и нивна вклученост во текот на денот (едно домаќинство)

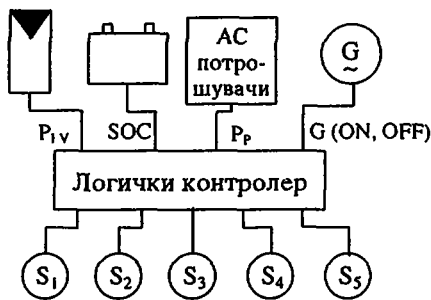
Потрошувач	Моќност (W)	Времетраење (% , h/ден)
осветление	50	33 % (8 часа/ден)
фрижидер	62,5	100 % (24 часа/ден)
телевизор	150	8 % (2 часа/ден)

Ако се претпостави дека телевизорот и осветлението се истовремено вклучени, тогаш едновремената максимална моќност трае 2 часа и изнесува $P_{mi}=262,5\text{ W}$. Факторот на оптовареност (однос на максимална и средна вредност на моќност) изнесува $FO=3$. Во едно домаќинство вкупната дневно потрошена електрична енергија изнесува $DP=2,2\text{ kWh/ден}$

Насочување на енергијата во хибридниот ФВ систем

Функционалноста на хибридниот ФВ систем може да се постигне при различни големини на површината на панелот и на капацитетот на батеријата, различни насочувања на електричната енергија и при различни режими на работа на дизел агрегатот. Енергетска состојба на батеријата се изразува со величината SOC (state of charge) - однос на енергијата што батеријата може да ја оддаде со нејзината номинална енергија. Во зависност од величината SOC , моќноста на панелот P_{FV} , вклученоста на агрегатот $G(ON, OFF)$ и неговата моќност P_{DA} , како и од моќноста на потрошувачот P_p , односно $P_{pDC} = P_p / \eta_{isp}$ (η_{isp} коефициент на корисно дејство на исправувачот), дефинирани се пет можни насоки на електричната енергија, односно пет енергетски состојби на системот (сл. 3), и тоа:

S_1 . $SOC \geq 0,5$ и $P_{FV} \geq P_{pDC}$ и $G=OFF \Rightarrow$ дел од P_{FV} кон потрошувач, $P_{FV}-P_{pDC}$ полни батерија.
 S_2 $SOC \geq 0,5$ и $P_{FV} < P_{pDC}$ и $G=OFF \Rightarrow P_{FV}$ кон потрошувач, батерија дополнува $P_{pDC}-P_{FV}$.



Сл. 3 Насочување на електричната енергија во хибридниот ФВ систем

S_3 $SOC < 0,5 \Rightarrow G=ON,$

S_4 $G=ON$ и $SOC < 0,7 \Rightarrow P_{DA}$ го снабдува потрошувачот, а P_{FV} и $P_{DA}-P_p$ ја полнат батеријата до $SOC=0,7$ и

S_5 $G=ON$ и $SOC = 0,7 \Rightarrow G=OFF.$

Агрегатот се вклучува при $SOC=0,5$ ($SOC=1-DOID$ depth of discharge) и не дозволува батеријата да се испразни до максимално дозволена длабочина ($DOID_{max}=0,85$), со што нејзиниот век на траење се продолжува. Бидејќи тој секогаш работи со номинална моќност потрошувачката на гориво е оптимална, а и бројот на вклучувања се намалува.

Димензионирање на хибриден фотоволтаичен систем

Целта при димензионирањето е изведба на функционален хибриден ФВ систем, со колку е можно помала инвестиција и со помали трошоци на тековно работење и одржување. Ова може да се постигне со правилна идентификација на влијанието на моќноста на панелот, капацитетот на акумулаторската батерија и на режимот на работа на дизел агрегатот врз функционалноста на системот.

Хибридниот ФВ систем е димензиониран имплицитно. Со симулација на неговите перформанси за различни големини на површината на панелот и на капацитетот на акумулаторот е добиено множество од функционални системи. Потоа е селектиран оној кој задоволува одредени критериуми, кои подоцна се изложени. Симулацијата е направена со програмот *PVFORM* [5], кој е модифициран согласно на споменатата логика за насочување на енергијата во системот, а неговиот излез е подреден на нашите анализи.

Во програмот *PVFORM* влезни величини се површината на панелот и капацитетот на батеријата и одредени нивни податоци, како и податоци за инверторот, моќноста на дизел агрегатот, а се потребни и часовни податоци за директната и дифузната компонента на сончевото зрачење и за температурата на околината и за брзината на ветерот.

Површината на панелот е:

$$\bar{A} = \frac{DP}{\eta_{cc} \times \eta_{inv} \times \eta_b \times \bar{H}_\beta} \quad (1)$$

каде DP е дневна потрошувачка на електрична енергија, η_{cc} е кофициент на корисно дејство на ΦB модулот (сведен во реални работни услови, [6]), η_{inv} на инверторот и η_b на батеријата при полнење/празнење, а \bar{H}_β (kWh/m^2 ден) е средна, во текот на месецот, дневна вредност на енергијата на сончевото зрачење на наклонетата површина. При симулациите, површината на панелот е менувана со чекор $0,05 \text{ A}$, од $0,2 \text{ A}$ ($7,73 \text{ m}^2$), до $1,3 \text{ A}$ ($50,2 \text{ m}^2$)

Енергетскиот капацитет на акумулаторската батерија е:

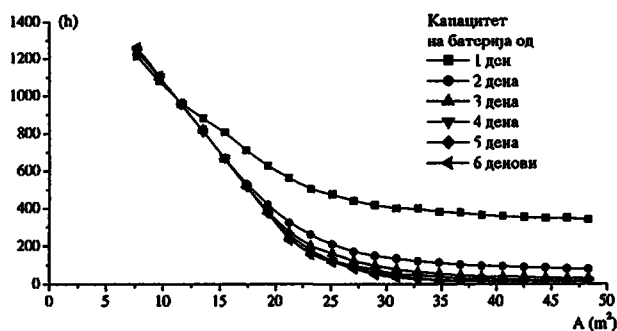
$$W_b = \frac{D}{DOD_{\max} \times \eta_b \times \eta_{inv}} \times DP \quad (2)$$

каде D е број на последувателни денови кога потрошувачот би можел континуирано да се напојува од батеријата и DOD_{\max} максимално дозволена длабочина на празнење на батеријата. При симулациите, со чекор $0,25$, D е менувано од 1 ($W_b=16,3 \text{ kWh}$) до 6 ($W_b=97,8 \text{ kWh}$)

За с. Врбица нема часовни мерени податоци за сончевото зрачење, температурата и за брзината на ветерот. Тие се генерирани со програмот *METEONORM* [7]. Генерираните часовни вредности имаат статистички показатели (средна вредност, стандардна девијација и автокорелација) еднакви на оние очекувани кај реалните вредности. Во *METEONORM* влезни податоци се средните, во текот на месецот, дневни вредности на енергијата на сончевото зрачење на хоризонтална површина H и на температурата на околината T_a . Со методот на Ангстрем, користејќи повеќегодишен низ од сончеви часови за најблиското место (Крива Паланка) е пресметана H [8], таб. 3. Со наклонување се менува упадната сончева енергија врз наклонетата активна површината. Во критичниот месец, а тоа е декември, таа е максимална при агол на наклон $\beta=65^\circ$. Со усреднување на мерените температури за Кратово, во чија непосредна близина е с. Врбица, е добиена средната, во текот на месецот дневна температура T_a , таб. 3.

Таб. 3 Средна, во текот на месецот, дневна вредност на енергијата на сончевото зрачење врз хоризонтална површина H (kWh/m^2) пресметана, м.с. Крива Паланка), и на температурата на околината T_a ($^\circ\text{C}$) (усреднета од мерени вредности, м.с. Кратово)

	Јан	Феб	Март	Апр	Мај	Јуни	Јули	Авг	Сеп	Ок	Нов	Дец
H	1,76	2,59	3,62	4,90	5,97	6,50	6,65	6,04	4,62	3,40	2,15	1,47
T_a	0,1	2,6	5,7	11,2	16,0	19,1	21,0	21,3	17,4	12,1	7,5	2,2



Сл. 4 Вкупен број на часови на вклученост на агрегатот во зависност од површината на панелот

панелот вкупниот број на часови на работа на дизел агрегатот многу малку се менува, сл. 4. За капацитет на батеријата соодветен на $D=2$, и за површини на панелот поголеми од $23,2 \text{ m}^2$, во месец август агрегатот не се вклучува, поради што системите со површина на панел поголема од $23,2 \text{ m}^2$ понатаму не се разгледуваат. За површини помали од $19,3 \text{ m}^2$, значително се зголемува бројот на часови на работа на агрегатот. Во рамките на

Со варирање на капацитетот на батеријата и на површината на панелот, симулирани се 483 хибридни ΦB системи. При симулациите се користени податоци за комерцијални компоненти, а моќноста на агрегатот е $P_{DA}=2,5 \text{ kWh}$. Притоа се пресметани нивните часовни перформанси, со чија анализа може да се согледа влијанието на компонентите врз функционалноста на системот.

При капацитет на батеријата соодветен на $D=2$ дена, со зголемување на повр-

ваквите разгледувања е избран ΦB панел со површина $A=19,3 \text{ m}^2$, и батерија со капацитет $W_b=32,6 \text{ kWh}$.

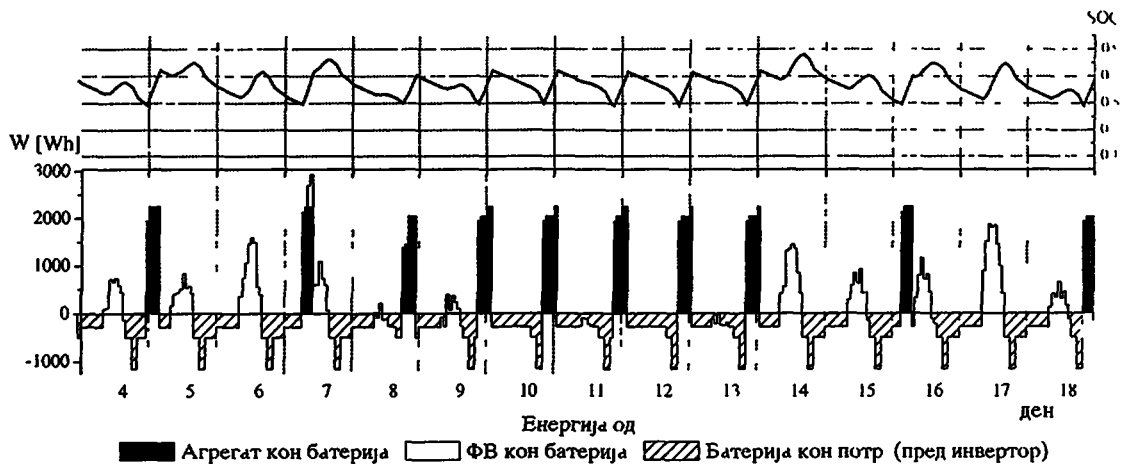
Анализа на перформансите на хибридниот ΦB систем

Акумулаторот претставува енергетски бафер кој го надополнува дефицитот и го акумулира вишокот енергија во системот. Притоа, тој обезбедува одреден континуитет и економичност во работењето. На неговата енергетска состојба, изразена со величината SOC , влијаат количеството на внесена енергија, генерирана од ΦB генераторот и од дизел агрегатот, и енергијата што тој ја оддава на потрошувачот

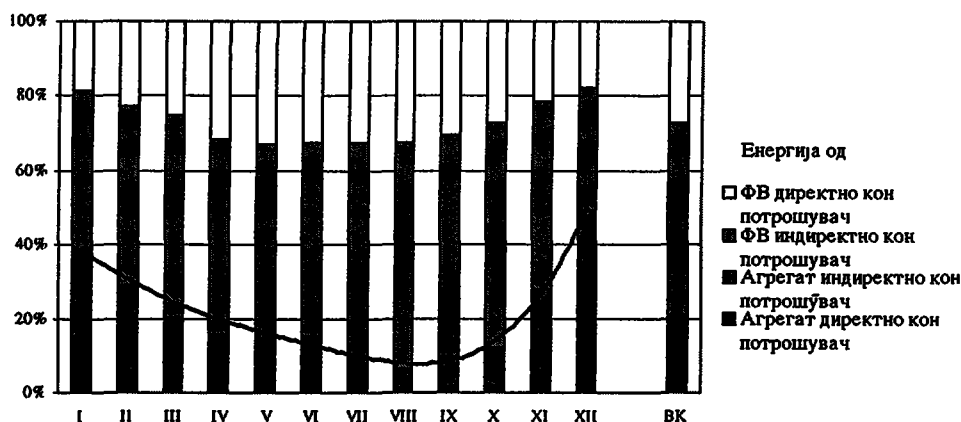
При $SOC=0,5$ агрегатот се вклучува и не дозволува длабоко празнење на батеријата (дозволена длабочина на празнење е $DOD_{\max}=0,25$), сл. 5, со што нејзиниот век на траење се продолжува, во овој случај на 11,6 години.

Во декември потрошувачката е $W_p=273 \text{ kWh}$, а агрегатот работи 81 часови и генерира вкупно $W_{DA}=202,5 \text{ kWh}$ електрична енергија. Од неа, директно на потрошувачот се предава $W_{DA_{dir}}=29,9 \text{ kWh}$, а остатокот (преку исправувач) се акумулира. Во овој месец, директно или индиректно (претходно акумулирана, а потоа претворена во AC енергија) агрегатот обезбедува 49,5 % од вкупната енергија на потрошувачот, сл. 6. Овој процент може да изнесува до 75 %, што зависи од соларниот енергетски потенцијал. Но, зголемување на бројот на часови на работа на агрегатот не се препорачува, бидејќи со тоа се зголемуваат трошоците на тековно работење и одржување (повеќе потрошено гориво и скратување на времето за ремонт на агрегатот).

Хибридниот ΦB систем во текот на целата година континуирано ги снабдува потрошувачите, сл. 6. На ΦB панелот вкупно годишно упаѓа $W_{SE}=30789 \text{ kWh/год}$ сончева енергија, а ΦB генераторот генерира $W_{FV}=3624,2 \text{ kWh/год}$ DC електрична енергија. Потрошувачот (преку инвертор) директно користи $W_{FV_{dir}}=967 \times \eta_{inv}=967 \times 0,9=870,5 \text{ kWh/год}$, а остатокот се



Сл. 5 Промена на енергетската состојба на акумулаторот (SOC) и уделот на ΦB панелот и на агрегатот во одржување на таа состојба (одредени денови во декември)



Сл. 6 Процентуална обезбеденост на вкупната потрошувачка на електрична енергија од ФВ генераторот и од дизел агрегатот (директно или индиректно)

акумулира во батеријата. Годишно агрегатот работи 401 часови, и произведува 1002,5 kWh/год енергија, од која директно се користи $W_{DAdir}=133,9$ kWh/год, а остатокот (преку исправувач) се акумулира во батеријата. Вкупната годишна потрошувачка е $W_p=3212$ kWh/год, од што ФВ генераторот и агрегатот директно обезбедуваат $W_{pdir}=1004,4$ kWh/год, а индиректно (преку акумулаторот) $W_{pind}=2207,6$ kWh/год. Од акумулаторот се обезбедува 68,7 % од вкупната потрошувачка, со што доаѓа до израз неговата улога како енергетски бафер во системот.

Според резултатите од анализата, во ниеден час ФВ генераторот не произведува вишок (некорисна) енергија. Ова е еден од показателите дека хибридниот ФВ систем е добро димензиониран.

Таб. 4 Годишни енергетски перформанси на избраниот хибриден ФВ систем (kWh)

W_{SE}	W_{FV}	W_p	W_{FVdir}	W_{FVind}	W_{DAdir}	W_{DAind}
30789	3624,2	3212	870,5	1663,0	133,9	544,6

Цена на хибридниот ФВ систем

За изведба на хибридниот ФВ систем се користат комерцијални компоненти, таб. 5. Ова е цената за електрификација на едно маало во с. Врбица. Според наша проценка, инвестицијата за електрификацијата на другото маало не би била повеќе од 24000 DEM. Ако претпоставиме дека царинските и даночни давачки се 50 % од вредноста на увезената опрема, тогаш може да оцениме дека вкупната цена на електрификација на с. Врбица со хибриден ФВ систем би била 84290 DEM.

Таб. 5 Спецификација и цена на опремата за избраниот хибриден ФВ систем

	тип	цена	количина	цена
ФВ модул	SR100 (0,89 м ² , 100 W _p)	1042	22	22924
носачи на модули	GR/12H	1022	2	2044
батерија	Trojan t-105, 20 h капацитет - 225 Ah, $\eta_b=0,9$	138	12	1656
инвертор	Trace UX1412SB 1400 W, $\eta_{inv}=0,9$	1614	1	1614
контролер за наполнетост на бат со барач на макс моќ	SB 50D	828	1	828
дизел агрегат	HD170F2-5k 2500 W, 240 V, 50 Hz, 0,81 l/h	2127	1	2127
логички контролер	OMRON	1000	1	1000
			вкупно (DEM):	32193

4 ЗАКЛУЧОК

Во оваа иницијална анализа е покажано дека во рурални подрачја почетната инвестиција за електрификација со хибриден ΦB систем може да е помала од онаа потребна за електрификација со поврзување со мрежа. Финансиска исплатливост зависи од дневната потрошувачка на електрична енергија, должината на електричната мрежа, како и од локалниот соларен енергетски потенцијал. Треба да се нагласи дека хибриден ΦB систем се димензионира според реално очекуваната потрошувачка на енергија, а не според стандардните технички можности, како што е случај при класичната електрификација. Ако потрошувачката се зголеми над очекуваната, модуларниот концепт овозможува едноставна надградба на системот, до одредени вредности, после што неговата финансиска исплатливост е дискутабилна.

Во разгледуваниот случај, должината на електричната мрежа не е голема. Има села каде оваа должина е значително поголема, па соодветно на тоа и цената на класичниот начин на електрификација би била поголема, што оди во прилог на иницијативата за електрификација на овој нестандартен начин.

Во системи со посложена структура каде што вклучување/исклучување на поедини потрошувачи е временски флексибилно, оптимизација во однос на почетната инвестиција и трошоците на тековно работење и одржување може да се постигне со одреден редослед на ниво вклучување/исклучување, а зависно од енергетската состојба на системот.

Според нашите согледувања, кај потрошувачи со едноставна структура, одредено намалување на почетната инвестиција и трошоците за тековно работење и одржување на хибридниот ΦB систем може да се постигне со избор на режимот на работа на дизел агрегатот. Притоа би требало да се води сметка за длабочината на испразнетост на батеријата во мигот кога тој се вклучува/исклучува, односно за вкупниот број на часови на негово работење, особено во критичните периоди од годината. Во оваа насока би можело да се направи подетално истражување.

Тековното сервисирање на хибридните ΦB системи е релативно едноставно, за што не е неопходна одредена квалификуваност. За дизел агрегатот се потребни стандардни редовни сервиси и дотур на гориво.

Во разгледуваниот пример има два момента кои се неповолни од аспект на употреба на ΦB системи. Првиот е големиот фактор на оптовареност на системот ($FO=3$), а вториот, кој е особено важен, е што поголемиот дел од потрошувачката е во вечерните часови. Тоа е фактичка состојба која не може да се менува. Но, и покрај тоа, цената за изведба на овој хибриден ΦB систем (84290 DEM) е 42 % пониска од цената за електрификација со поврзување на мрежа (144520 DEM).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hybrid power systems - Issues&Answers, <http://www.sandia.gov/pv/sysd/Hybook.html>
- [2] K. Schmidt, D. J. Patterson, J. Sachau, Performance optimisation of a PV-hybrid power system using computer simulation, 2nd World Conference on Solar Energy Conversion, Vienna, Austria, July 1998,
- [3] G. C. Seeling-Hochmuth, A combined optimisation concept for the design and operation strategy of hybrid-PV energy systems, ISES Solar World Congress, Harare, Zimbabwe, 9-16 September 1995,
- [4] C. Dennis Barley and C. Byron Winn, Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems, Solar Energy Vol. 58, No. 4-6, pp. 165-179, 1996,
- [5] D. F. Menicucci, J. P. Fernandez, A Photovoltaic system simulation program for stand-alone and grid-interactive application, Sandia National Laboratory, New Mexico, US DOE, 1994,
- [6] D. L. Evans, Simplified method for predicting photovoltaic array output, Solar Energy Vol. 27, No. 6, pp. 555-560, 1981,
- [7] J. Remund and Stefan Kunz, METEONORM, Global meteorological database for solar energy and applied climatology, Meteotest, Bern, Switzerland, 1997,
- [8] Димитров Благој и др., Потенцијалот и улогата на сончевата енергија во планот и развојот на енергетиката на СР Македонија, научно-истражувачки проект финансиран од СИЗ за научни дејности, 1983,