

Техно-економска анализа за електрично снабдување на изолирани енергетски потрошувачи со користење на програмски пакет HOMER[®]

Влатко ЧИНГОСКИ, ЕТФ, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип

Роман ГОЛУБОВСКИ, ЕТФ „Гоце Делчев“, Штип

Ристо ДАМБОВ, ФПТН, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип

Користењето на дистрибуираните производители на електрична енергија, пред се засновани на обновливи енергетски ресурси претставува значаен исчекор кон економично и доверливо снабдување со електрична енергија, особено за енергетски потрошувачи со скромни потреби и лоцирани подалеку од постоечките дистрибутивни енергетски мрежи, т.н. изолирани енергетски потрошувачи.

Овој труд е всушност продолжение и надградба на комплементарниот труд за анализа на техничките можности и методологијата за избор на оптимално техничко решение за снабдување со електрична енергија кај изолирани потрошувачи. Користејќи го програмски пакет HOMER[®] направена е анализа на инвестициските и оперативните трошоци за еден конкретен изолиран енергетски потрошувач – викенд кука која е оддалечена од најблиската дистрибутивна точка повеќе од 9 километри, со користење на неколку потенцијални дистрибуирани производители на енергија. Од добиените резултати може да се заклучи дека програмскиот пакет HOMER[®] може да се користи за анализа и определување на оптималното решение за снабдување со електрична енергија кај изолирани потрошувачи, преку користење на дистрибуирани производители на електрична енергија.

Abstract

The use of distributed electricity generation, primarily based on renewable energy resources represents a significant step toward economical and reliable power supply especially energy consumers with modest power needs and located away from existing energy distribution networks, etc. isolated energy consumers.

This paper is actually a continuation and upgraded complementary effort to analyze the technical capabilities and the methodology for selecting the optimal technical solution for electricity supply in isolated consumers. Using the program package HOMER[®] an analysis of investment and operating costs for a particular isolated energy consumer – weekend house away from the nearest distribution point more than 6 miles using several potential distributed power producers is presented. From the results it can be concluded that the suite HOMER[®] can be used to analyze and determine the optimal solution for power supply in isolated consumers through the use of distributed electricity generation.

Вовед

Изградбата и експлоатацијата на т.н. *изолирани електроенергетски извори*, генерално се базира на користење на локално достапни обновливи извори на енергија, пред сè, ветерот, сонцето, водата од помалите речни текови, биомасата и геотермалните извори. Со оглед дека дел од нив, особено геотермалните, водените и ветерните ресурси се поретко застапени, најчесто за изградба на сопствени ограничени извори на електрична енергија се користат сонцето и биомасата. Од исклучително значење е, пред да се отпочне со инвестирање во било какви обновливи извори на електрична енергија, да се направи солидна техно-економска анализа за можностите и придобивките од ваквиот независен извор на електрична енергија.

Во претходниот труд [1] особено внимание беше посветено на начинот и методите за избор на номинална моќност на системот како и анализите на потенцијалните енергетски извори кои на определена локација може да постојат. При тоа се занимаваме со конкретна локација каде беа истражувани енергетските потенцијали на два обновливи енергетски извори, сонцето и ветерот. Беше анализиран и утврден капацитетот на двата обновливи извори и беше донесен заклучок дека ниту еден од нив самостојно не може да ги задоволи потребите од електрична енергија на потрошувачот на дадената локација, заради што беше воведен концептот на т.н. *хибриден енергетски извор* составен од соларна фотоволтаична (PV) електрана, ветрогенератор и дизел агрегат како резервен, односно сигуреносен енергетски извор кој би овозможил дополнителна електрична енергија во периоди кога останатите два обновливи енергетски извори не би можеле да одговорат на сите енергетски потреби на изолираниот потрошувач.

Во овој труд, кој претставува логичен продолжеток на претходните анализи, авторите се занимаваат со решавање на проблемот на инсталираниот капацитет на секој извор поодделно (PV, ветрогенератор и дизел агрегат), оптималниот сооднос помеѓу поодделните енергетски извори како и нивото на инвестиции и економските ефекти од изградбата и експлоатација на еден ваков хибриден електроенергетски систем. За таа цел, авторите користат програмски пакет **HOMER**[®] кој е еден од повеќето широко распространети програми за техно-економска анализа на различни алтернативни решенија за изградба на хибридни електроенергетски извори.

Програмски пакет HOMER[®]

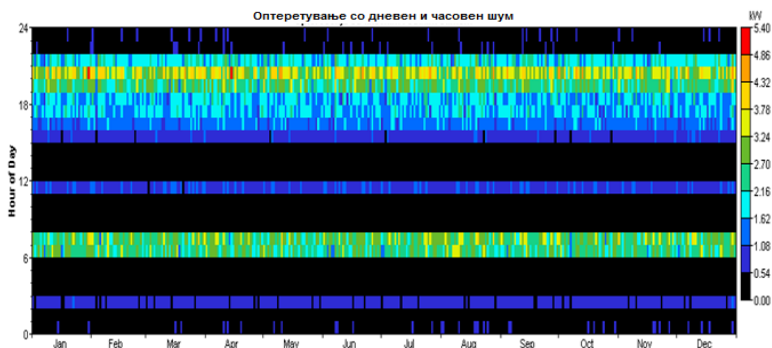
Програмскиот пакет **HOMER**[®] претставува оптимизирачки компјутерски модел за анализа на извори за дистрибуирано производство на електрична енергија [2], [3]. Како и кај други програмски пакети со слична намена (*на пр. RETScreen*), овој програмски пакет ја поедноставува задачата за проценка на можностите за изградба и експлоатација како и исплатливоста на самостојни или мрежно моделирани хибридни електроенергетски системи составени од необновливи и обновливи извори. При дизајнирање на мрежата, всушност при дизајнирањето на изолираниот дистрибуиран електроенергетски систем, потребно е да се донесат неколку многу важни одлуки. Овие одлуки се однесуваат, пред сè на самата конфигурација на системот, начините и можностите за негово користење, како и инвестициските вложувања и економските показатели за време на инсталирање и користење на истиот.

Анализата на предностите и недостатоците се реализира за позната локација и за различни временски периоди и услови на користење на електричната енергија од стана на изолираниот потрошувач. Сите влезни податоци потребни за моделирање на системот, како на пример, податоците за интензитетот на ветерот, количината на сончевото зрачење и сл., надополнети со податоците за очекуваните режими на работа на потрошувачот во разни временски периоди (*дење-ноќе, пролет-лето-есен-зима, итн.*) засебно се задаваат и врз нивна основа, програмскиот пакет прави анализа и дава решенија во форма на оптимални режими на инсталираност и искористување на целокупниот електроенергетски (*производство-потрошувачка*) систем.

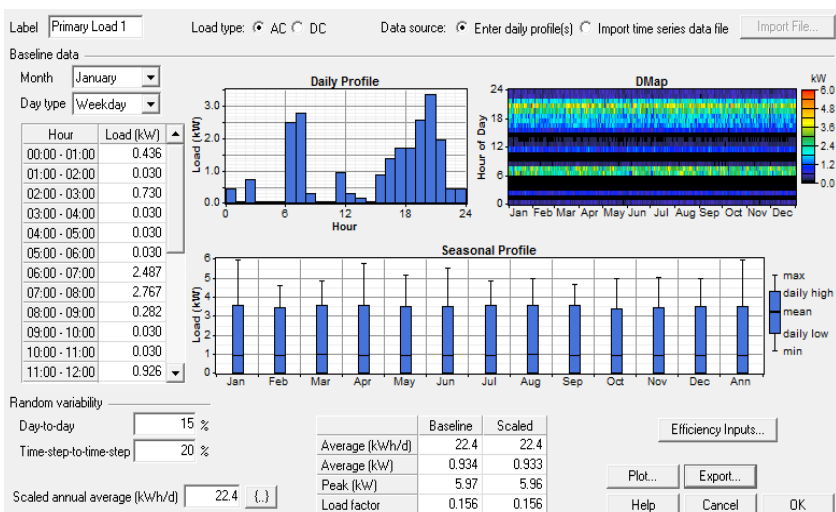
За да се овозможи флексибилност при анализите, авторите користеа модуларен пристап, при што беа утврдени типски модели на мала ветроелектрана со инсталирана моќност од 1 MW, мал модуларен фотонапоски систем со инсталирана моќност од 0,5 kW и резервен дизел агрегат. Со додавање (*или одземање*) на некој од модуларните енергетски извори може да се моделираат различни производни и потрошувачки режими на работа на системот. Дополнително, со додавање на определни економски параметри, како на пример, специфичната цена по 1 kW инсталирана моќност кај ветрогенераторскиот систем или PV систем, како и цената на дизел горивото користено за дизел агрегатот, програмскиот пакет **HOMER**[®] овозможува споредба на различните варијанти и предлага оптимално решение за системот по однос на нивото на инестиции, оперативни трошоци и економските перформанси на системот во целост.

Посебна погодност која ја нуди програмот е симулација на работните режими на системот и негово енергетско балансирање за секој час во годината, односно вкупно за 8760 часови годишно. Бидејќи часовниот профил на оптоварување на системот е непознат, програмскиот пакет **HOMER**[®] во својата работа врши симулација и формира синтетизиран сет на часовно оптоварување преку користење на претходно дефиниран дневен дијаграм на оптоварувања.

Како што беше претходно утврдено во [1], вкупното приближно дневно оптоварување на анализираниот систем изнесува 22,4 kWh, при што максимално часовно очекувано оптоварување на системот изнесува 5,96 kW. Врз основа на овие податоци и со дополнително дадено максимално часовно отстапување (*ниво на шум*) дефинирано од страна на корисникот, програмот автоматски генерира годишен часовен дијаграм на оптоварување, односно за секој од 8.760 часови во годината.

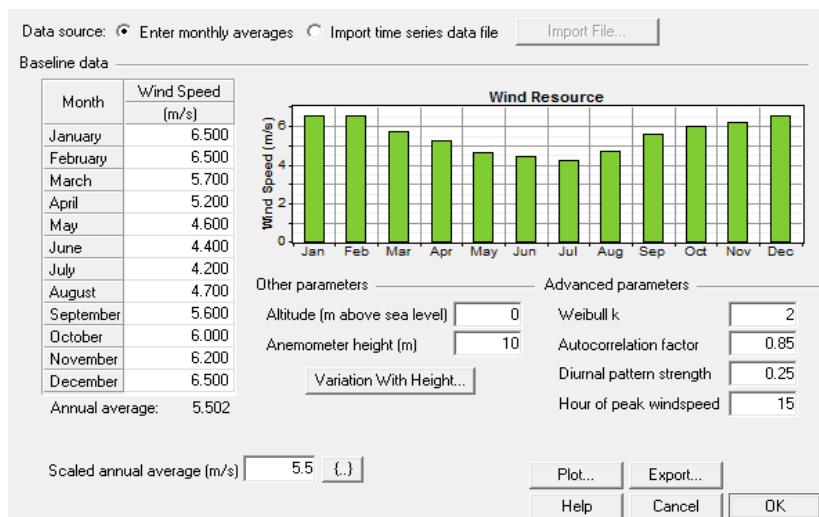


Сл. 1: Приказ на годишен дијаграм на дневно оптоварување со дневен и часовен шум.



Сл. 2: Типичен дневен профил на оптоварување на системот за период од 12 месеци.

Откако се внесени податоците за оптоварувањето на системот за секој час во текот на годината (Сл. 2), следниот чекор е да се внесат податоците за примарните енергетски извори, интензитетот на ветерот и сончевото зрачење на дадената локација.

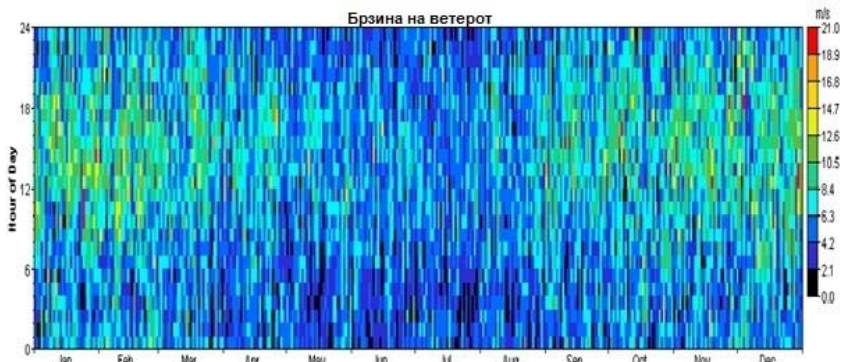


Сл. 3: Внесување на просечни средни брзини на ветерот потребни за симулација.

Внесување на податоците за интензитетот на ветерот

Измерените податоци за брзината на ветерот [1] ги внесуваме во специјален екран прикажан на Сл. 3, врз основа на кои програмот врши пресметка на просечната средна брзина на ветерот и истата се зема во понатамошните пресметки (во нашиот случај 5,502 m/s). Дополнително, заради очекувана промена на брзината на ветерот во

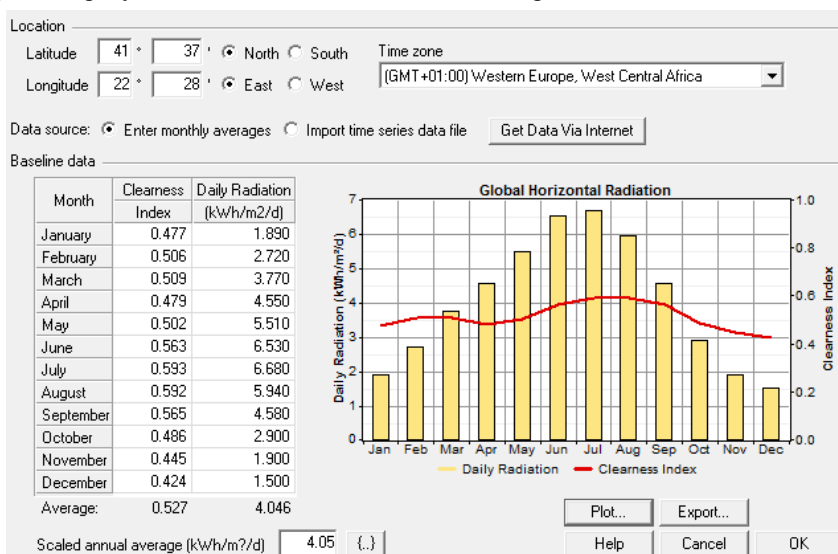
текот на денот или сезоната, доаѓа до одредени осцилации во системот кои осцилации се важен параметар во процесот на пресметки и симулација на системот.



Сл. 4: Часовна промена на јачината на ветерот за период од една година на локацијата.

Внесување на податоците за интензитетот на сончево зрачење

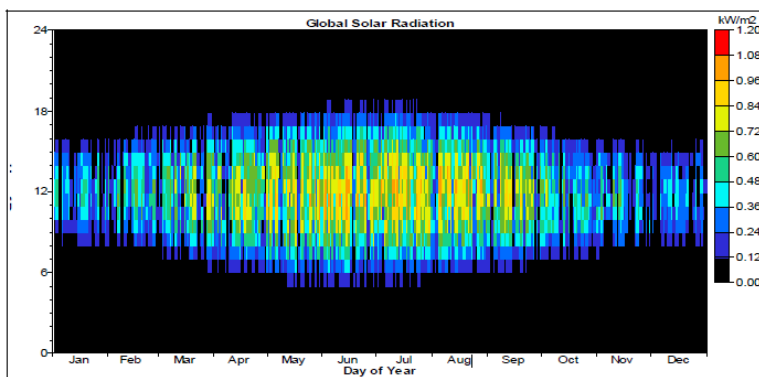
Една од поважните предности на програмскиот пакет **HOMER**[®] е неговата можност со користење на интернет конекција да ги обезбеди податоците за интензитетот на сончевото зрачење на дадена локација преку користење на однапред дефинирани сервери како резултати од глобалните сателитски мерење.



Сл. 5: Просечни средни месечни вредности на вкупното дnevно сончево зрачење на нормална површина.

На Сл. 5, прикажани се основните податоци кои се потребни за да може програмскиот пакет да го пресмета производството на електрична енергија од еден PV систем на дадена локација. Мерењето на глобалното сончево зрачење доколку се работи за моменталниот интензитет на зрачење е дадена во W/m^2 , но за

определување на можното производство на електрична енергија од еден PV систем, најчесто се користи нејзината средна дневна вредност, изразена во kWh/m^2 дневно. Тоа значи дека вредноста на глобалното сончево зрачење на нормална површина е пресметана низ одреден временски интервал (1 час) на одредена површина ($1m^2$) и претставува аритметичка средина на средните дневни вредности за определен месец (Сл. 6).



Сл. 6: Годишен приказ на глобалното (вкупното) сончево зрачење на дадената локација.

Влезни податоци за компонентите на системот

Последен чекор пред да се пристапи кон анализа на системот, е дефинирање на параметрите на компонентите на системот. Во нашите анализи, земено е во предвид користење на следните компоненти:

- **Ветрогенератор Bergey BWC XL.1** со инсталирана моќност од 1kW од америчкиот производител Bergey Windpower,
- **PV модул Heliio H1500**, монокристален модул со номинална моќност од 125W и номинален напон 12 VDC,
- **Излезен MPPT регулатор на напон BZ MPPT 500** или **BZ MX 60**, во зависност од инсталирана моќност на системот.
- **Претворац** составен од комбиниран систем од инвертер/исправувач (*полнач на батерији*),
- **Систем на акумулатори (батерији)**, **Тројан Т-150** батерији од американско производство предвидни за цикличен начин на работа и изведен како оловна батерија со електроди потопени во течен електролит и со номиналниот напон од 6V, капацитетот од 225 Ah ($1.35 kWh$), и вкупна енергетска моќност од 845kWh.
- **Резервен дизел агрегат/генератор модел Isuzu 400TS** со максимална инсталирана моќност од 4,5 kW.
- Останати помошни елементи, водови, мерни уреди и системи за заштита.

Инвестициски трошоци за реализација на системот

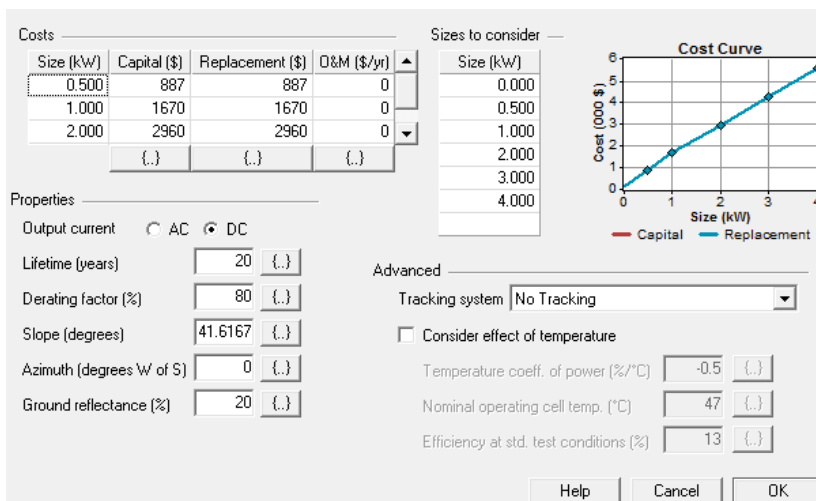
Инвестициските трошоци за секој од предвидените компоненти на системот се дадени во следните неколку табели. При тоа, дадени се неколку варијатни за секоја компонента врз основа на употребената инсталирана моќност на системот.

Табела 1: Трошоци поврзани со инсталирање на ветрогенераторите.

Ветрогенератор			
			<i>Инсталирана моќност 1 kW</i>
<i>Компонента</i>		<i>Цена (\$)</i>	
Ветрогенератор BWC Bergey XL-1; 1kW; 24 VDC		1450	
Столб 24m (80ft)		146	
Преклопник за исклучување во случај на неочекувани удари на ветер		204	
Вкупно:		1800	
			<i>Инсталирана моќност 2 kW</i>
<i>Компонента</i>		<i>Цена (\$)</i>	
2 x Ветрогенератор BWC Bergey XL-1; 1kW; 24 VDC		2.902	
2 x Столб 24m (80ft)		293	
Енергетски центар за координација		29	
Преклопник за исклучување во случај на неочекувани удари на ветер		408	
Вкупно:		3.632	
Вкупни трошоци за инвестирање, замена, работа и одржување (O&M) (\$)			
Номинална моќност (kW)	Инвестиции (\$)	Трошоци за замена (\$)	Трошоци за O&M (\$/год)
1	1800	1800	30
2	3632	3632	50

Табела 2: Трошоци поврзани со инсталирање на PV соларна електрана.

PV соларна електрана			
			<i>Инсталирана моќност 0.5 kW</i>
<i>Компонента</i>		<i>Цена (\$)</i>	
4 x Heliios H 1500, 125W/12 VDC		521	
Излезен регулатор на напон BZ MPPT 500		203	
4 x Аголен носач за на кров		117	
Воѓици и трошоци за инсталација		46	
Вкупно:		887	
			<i>Инсталирана моќност 1 kW</i>
<i>Компонента</i>		<i>Цена (\$)</i>	
8 x Heliios H 1500, 125W/12 VDC		1040	
Излезен регулатор на напон BZ MX60		326	
8 x Аголен носач за на кров		235	
Воѓици и трошоци за инсталација		69	
Вкупно:		1670	
			<i>Инсталирана моќност 2 kW</i>
<i>Компонента</i>		<i>Цена (\$)</i>	
12 x Heliios H 1500, 125W/12 VDC		2087	
Излезен регулатор на напон BZ MX60		326	
12 x Аголен носач за на кров		457	
Воѓици и трошоци за инсталација		90	
Вкупно:		2960	
Вкупни трошоци за инвестирање, замена, работа и одржување (O&M) (\$)			
Номинална моќност (kW)	Инвестиции (\$)	Трошоци за замена (\$)	Трошоци за O&M (\$/год)
0,5	887	887	10
1	1670	1670	30
2	2960	2960	30



Сл. 7: Податоци за моделирање на PV мрежа и трошоците за инвестирање, замена, работа и одржување на истата.

Табела 3: Трошоци поврзани со набавка и инсталација на дизел агрегат/генератор.

Дизел агрегат/генератор ISUZU 400 TS			
Инсталирана моќност 4,5 kW			
Компонента	Цена (\$)		
Агрегат/Генератор	947		
Автоматика на агрегатот/генераторот	685		
Резервоар за гориво	238		
Вкупно:			1870
Вкупни трошоци за инвестирање, замена, работа и одржување (O&M) (\$)			
Номинална моќност (kW)	Инвестиции (\$)	Трошоци за замена (\$)	Трошоци за O&M (\$/год)
4,5	1870	500	10

Табела 4: Трошоци поврзани со набавка, инсталација и одржување на батериите.

Вкупни трошоци за инвестирање, замена, работа и одржување (O&M) (\$)			
Номинална моќност (kW)	Инвестиции (\$)	Трошоци за замена (\$)	Трошоци за O&M (\$/год)
2	225	225	5
4	450	450	10

Табела 5: Трошоци поврзани со набавка и инсталација и одржување на претворачите.

Комбиниран претворач (инвертер/исправувач)				
Инвертер				
Модел	STUDER XPC 22000-24	STUDER C2600-24	OUTBACK VFX 3024	STUDER HPC 4400-24
Номинален напон	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Влезен напон	19 - 32 VDC	19 - 32 VDC	21 - 34 VDC	19 - 34 VDC
Трајно оптоварување	1600 VA	2300 VA	3000 VA	4000 VA
Ефикасност	95%	95%	92%	94%
Сопствена потрошувачка	7 W	9 W	20 W	16 W
Излезен напон/фреквенција	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz	230 V/50 Hz













Исправувач (полнач на батерии)					
Струја на полнење	0 – 37 A	0 – 37 A	0 – 85 A	0 – 100 A	
Влезна фреквенција	45 - 65 Hz	45 - 65 Hz	45 - 65 Hz	45 - 65 Hz	
Мах влезен напон	265 VAC	265 VAC	265 VAC	265 VAC	
Min влезен напон	150 - 230 VAC	150 - 230 VAC	160 - 300 VAC	150 - 230 VAC	
Ефикасност	95%	95%	92%	94%	
Цена (\$) :		300	380	520	600
Вкупни трошоци за инвестирање, замена, работа и одржување (O&M) (\$)					
Номинална моќност (kW)	Инвестиции (\$)	Трошоци за замена (\$)		Трошоци за O&M (\$/год)	
1,6	300	300		0	
2,3	380	380		0	
3,0	520	520		0	
4,0	600	600		0	

Анализа и приказ на добиените резултати од симулацијата

Откако ќе бидат внесени сите потребни влезни податоци, програмскиот пакет HOMER[®] врши анализа на истите. Програмот врши симулација на перформансите на секој енергетски извор посебно, но уште поважно е што истиот врши анализира и споредба на повеќе самостојно генерирани комбинации од понудените енергетски извори кои формираат повеќе варијанти на хибридни електроенергетски системи. Секој од овие самостојно формирани хибридни системи мора да ги задоволува енергетските потреби на потрошувачот во секој час од годината, односно за секој час од вкупно 8.760 часа на оптоварување.

По завршувањето со пресметките, во категоризиран приказ се појавуваат добиените комбинирани т.е. *хибридни системи* кои ги задоволуваат барањата на потрошувачот подредени според нивната исплатливоста, односно според вкупните трошоци кои се потребни за работа на системот за нормален работен век од 20 години, подредени од најекономичниот кон најнеекономичниот. Дополнително, програмот може да даде и други листи со други критериуми на подредување, на пр. според влијанијата на другите променливи, односно да врши анализа на осетливост на понудените системи.

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	XL1	Isuzu (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Isuzu (hrs)
  	0.5	2	4.5	4	3.0	\$ 7,017	2,404	\$ 37,754	0.361	0.53	1,469	3,155
  		2	4.5	4	1.6	\$ 5,910	2,497	\$ 37,829	0.362	0.49	1,563	3,379
  	1.0		4.5	4	1.6	\$ 4,290	3,726	\$ 51,915	0.497	0.12	2,354	5,030
  			4.5	4	1.6	\$ 2,620	3,871	\$ 52,107	0.499	0.00	2,465	5,245

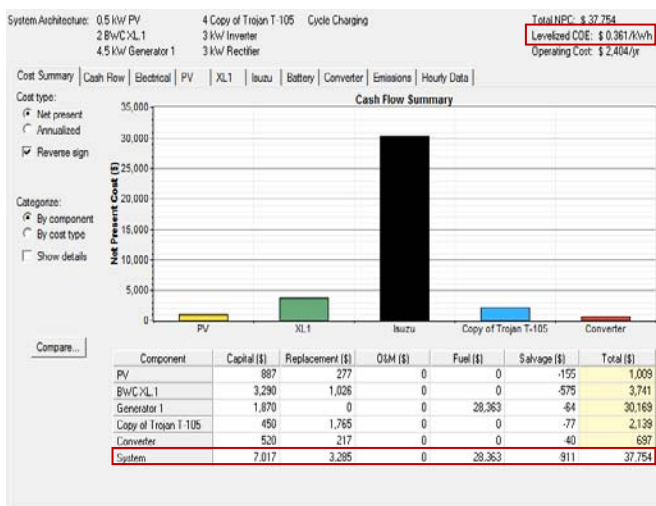
Сл. 8: Приказ на можните хибридни системи подредени според критериумот за исплатливост.

Според дадените резултати на Сл. 8, може да се забележи дека програмот како оптимално решение за овој проект (*дадена локација, потенцијални извори и потрошувачка*) предлага хибридниот систем да се состои од:

- Еден 0,5 kW PV соларен модул,
- Две ветерни турбини 1 kW BWDC XL.1,
- Еден дизел агрегат Isuzu 400TS,

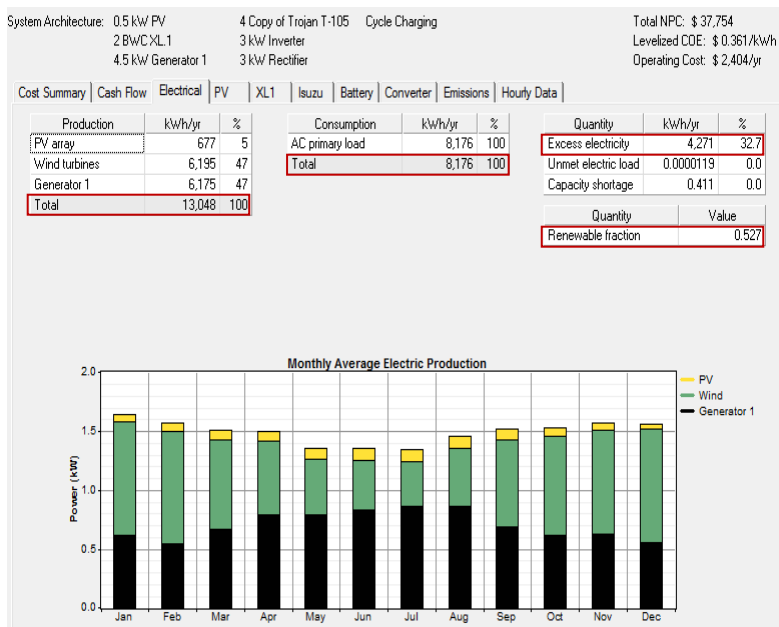
- Четири Тројан Т-150 батерии, и
- Претворувач (*инвертер/исправувач*) со моќност од 3.000 ВА.

Капиталните инвестициски трошоци на овој систем изнесува \$7.017 USD. Вкупните трошоци кои треба да ги понесе инвеститорот (*набавка, инсталација, замена, работа и одржување*) на целиот систем пресметани за животниот век на проектот изнесуваат \$37.754 USD, додека просечната цена на произведената енергија за целиот систем и за целиот период на експлоатација изнесуваат 0,361 \$/kWh. Според добиените резултати, видливо е дека најголемо влијание врз вкупниот износ на трошоците, влијае дизел агрегатот, особено трошоците за негова работа, односно трошоците за потрошувачката на гориво кои изнесуваат дури 94% од вкупните трошоци за работа и одржување на оптималниот хибриден систем во текот на целиот негов животен век.



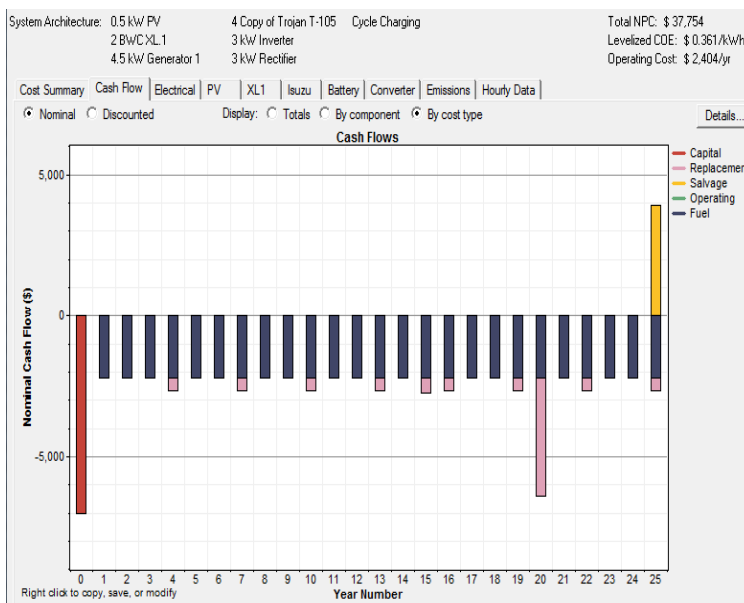
Сл. 9: Приказ на трошоците за инвестирање, работа и одржување на оптималниот систем и податоци за цената на произведената енергија.

Очекуваното производство од хибридниот систем од секоја од компонентите засебно и од целиот систем заедно е дадено на Сл. 10. Од оваа слика може да се види дека PV соларен систем учествува само со 5% во вкупното производство на електрична енергија додека ветрогенераторите и дизел агрегатот подеднакво учествуваат во остатокот секој со по 47% од вкупната произведена електрична енергија. Вкупното годишно производство на електрична енергија изнесува 13.048 kWh, од кое 8.176 kWh или 62,7% од произведената електрична енергија се користи за сопствени потреби, додека останатите 4.271 kWh или 32,7%, може да се складира за понатамошно користење или да се понуди на некој друг потрошувач во близина на хибридниот систем. Процентот на електрична енергија добиена од обновливи извори на енергија е 52,7% или нешто повеќе од половината (Сл.10).



Сл. 10: Податоци за произведените, потрошените и акумулираните количини на електрична енергија добиена од хибридниот систем по месеци и годишно.

Што се однесува до економските параметри, трошоци и повраток на инвестицијата, на Сл. 11 даден е паричниот тек за целиот период на инвестирање и експлоатација на хибридниот систем. Веднаш може да се забележи значителна разлика во однос на инвестицијата во директен приклучок кон постојната дистрибутивна електроенергетска мрежа, каде вкупната почетна инвестиција изнесуваше околу 80.000 € или околу \$110.000 USD. Во случај на развој на хибриден систем, почетната инвестиција изнесува само \$7.017 USD, годишните трошоци за работа на системот се на ниво од околу \$2.400 USD од кои најголем дел отпаѓа на горивото за дизел агрегатот, или вкупниот трошок за снабдување со електрична енергија на овој изолиран потрошувач за период од 20 години изнесува \$37.754 USD. Оваа сума претставува околу 34% во однос на почетната инвестиција во случај на директен приклучок кон дистрибутивната мрежа. Ова укажува на фактот што и покрај тоа што цените на дизел горивото се високи, исплатливоста на проектот за изградба на ваков хибриден енергетски систем е оправдана. Потребни се три периоди од по 20 години, односно вкупно 60 години, за да се исплати почетната инвестиција од \$110.000 USD за обезбедување на приклучок кон постојната електродистрибутивна мрежа. Во случај на изградба на хибриден систем потребното време за целосно отплаќање на трошоците за инвестиција, работење и одржување на системот изнесува 25 години експлоатација, односно после овој период, самиот проект почнува да носи дополнителен приход на инвеститорот.



Сл. 11: Приказ на паричните текови (*cash flow*) низ животниот век на хибридниот систем.

Заклучок

Во овој труд прикажана е можноста за користење на компјутерски програм **HOMER**[®] за анализа и симулација на поголем број на варијанти и избор на оптимално решение за дизајнирање и експлоатација на хибриден систем за производство на електрична енергија кој користи обновливи енергетски извори. Точноста на резултатите од оптимизацијата и изборот на најдоброто решение во голема мера зависи од точноста на внесените податоци, особено тоа се однесува на делот на економските анализи. Во дадениот пример, користени се податоци за компонентите (*технички и финансиски*) кои важат за македонскиот пазар и со нив направена е симулација и моделирање на хибриден систем за дадена локација.

Резултатите добиени преку симулации со програмскиот пакет **HOMER**[®] на зададената проектна задача можат да послужат за анализа на изводливоста и исплатливоста на ваков вид инвестиции. За жал, овие решенија неможат до детали да ја гарантираат техничката сигурност како и финансните перформанси на оптималниот систем од проста причина што е тешко да се предвидат трошоците и однесувањето на поедините енергетски компоненти на подолг рок (*20 години*) како што е земено во нашиот случај.

Коефициентите на искористеност на изворите кои користат обновлива енергија како и цената на самите компоненти (*ветрогенератори, PV соларни модули, претвораачи, батерии и сл.*) се силно променливи категории, речиси подеднакво како и цените на дизел горивото кое се користи како резервен енергенс. Заради тоа, добиените резултати со овој програмски пакет претставуваат солиден почеток за анализа на придобивките од изградба на вакви хибридни енергетски системи, посебно во случај на изолирани електроенергетски потрошувачи.

Користена литература

1. Чингоски В, Голубовски Р, Дамбов Р. „Технички аспекти и анализа на можности за дистрибуирано производство и снабдување со електрична енергија кај изолирани енергетски потрошувачи“, прифатен труд, Меѓународно советување „Енергетика – 2014“, во организација на ЗЕМАК.
2. HOMER, <http://www.nrel.gov/homer/> (бесплатна демо-верзија).
3. Мијалов В. „Можности за напојување на дислоциран станбен објект со помош на алтернативни извори на енергија“, Дипломска работа, ЕТФ, Универзитет, „Гоце Делчев“ – Штип, јануари 2013 година.