

mr. sc. Krešimir Tačković, dipl. ing.
HEP – ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek
kresimir.tackovic@hep.hr

mr. sc. Ivica Petrović, dipl. ing.
HEP – OPS d.o.o., PrP Osijek
ivica.petrovic@hep.hr

SIMULACIJA I MODELIRANJE DISTRIBUIRANOG HIBRIDNOG IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE

SAŽETAK

Rad prikazuje jedan način modeliranja hibridnog obnovljivog manjeg odvojenog energetskog sustava.

Matematički je opisan model za dizajniranje optimalne strukture sustava obnovljivih izvora s naglaskom na životni vijek sustava, dostupnost izvora, ekološke troškove i zahtjeve pouzdanosti.

Sustav modeliranja temelji se na primjeni fotonaponskih ćelija, vjetrenih turbina, dizel agregata, te akumulatora.

Skup podataka predstavljen je tipičnim vremenskim uvjetima, a praktična simulacija izvršena je u programskom paketu Homer koji obuhvaća sve aspekte pri traženju optimalnog sustava.

Ključne riječi: modeliranje obnovljivih izvora energije, fotonaponska mreža, vjetrena turbina, dizel agregat

SIMULATION AND MODELING OF DISTRIBUTED ENERGY HYBRID SOURCES

SUMMARY

This work represents method for design small renewal energy model.

Illustrate mathematical model is design for optimum structure renewal energy model with respect of life time costs, availability sources, ecological costs and reliability conditions.

Modeling is based on application photovoltaic, wind turbine, IC.

Renewal energy model depends of availability sun emission and wind energy. Simulation is performing using Homer software which includes all aspect for search system optimization.

Key words: renewable energy modeling, PV photovoltaic, WT, IC

1. UVOD

Rad prikazuje jedan način modeliranja i simulacije hibridnog obnovljivog energetskog sustava. Pokazano je programsko okruženje u kojima je isti modeliran. Blokovski prikaz modela opisan je naponskim jednadžbama uz objašnjenje pojedinih veličina. Načelno je opisan problem optimizacije kroz minimiziranje funkcije cilja. Za pojedine blokove (dizel agregat, fotonaponske ćelije, vjetroelektrane i baterije) dani su analitički izrazi i grafički prikazi utjecaja na model. Analiza modela zahtjeva poznavanje satne karakteristike potrošača, raspoloživih izvora energije na lokaciji izdvojenog potrošača, tehničko-ekonomske osobine proizvedenih resursa, ekstremne troškove i koeficijente emisije te zahtjev pouzdanosti.

Za modeliranje fotonaponske ćelije uzeta je proporcionalnost između sunčevog zračenja i izlazne snage, a temperaturni koeficijent ćelije prikazan je kao koeficijent snage. Ograničenja fotonaponskih ćelija uzimaju u obzir intenzitet zračenja, temperaturu, kao i stupanj korisnog djelovanja pretvarača.

Svojstva vjetroturbine modelirana su i uspoređena sa matematičkim modelom analitički i grafički. Kod vjetroelektrana glavina ograničenja vezana je za broj instaliranih jedinica.

Modeliranje dizel agregata izvršeno je kroz linearnu funkciju potrošnje u odnosu na generiranu električnu energiju, prikazana je i njegova krivulja učinkovitosti. Navedena su ograničenja dizel agregata i njegovog angažmana u godini, pojedinom periodu uporabe kao i satnom režimu.

Glavna ograničenja spremnika energije očituju se kao dopuštena struja punjenja i pražnjenja pa i kontrola napunjenosti. Navedena su i opća ograničenja pojedinih blokova kao: problem balansiranja energije, ograničenja u godišnjoj proizvodnji, ograničenja pojedinih izvora, kao i ograničenja u pogledu pouzdanosti. Navedeni model uzima u obzir dvadeset godišnji vijek, dostupne resurse i zahtjeve pouzdanosti. Praktična realizacija modela izvršena je u programskom paketu HOMER.

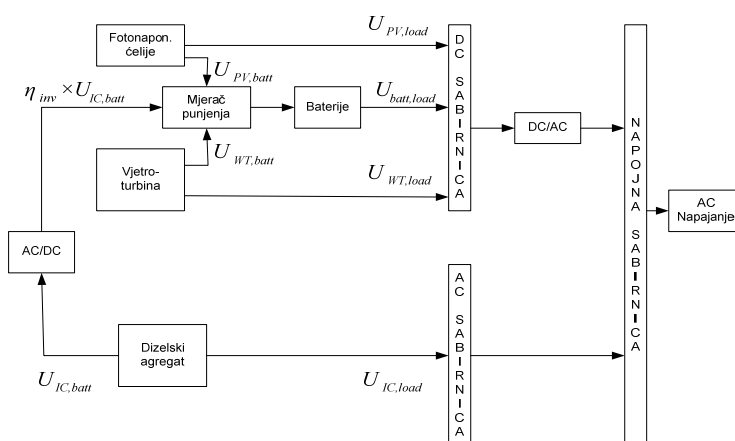
2. MODEL OBNOVLJIVIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE

2.1. Struktura modela

Optimizacijski i simulacijski model je definiran kao kombinacija linearnog programiranja. Izlazno rješenje modela je optimalna konfiguracija za obnovljivi energetska sustav koji uzima u konačni izračun tehnička rješenja opskrbe, cijenu opreme za dvadeset godišnji životni vijek, trenutnu dostupnost energetskih izvora, potrebne karakteristike, cijena zaštite okoliša i pouzdanost sustava. Struktura ovog modela je prezentirana na slici 1.

Dobivena nazivna snaga je definirana kao međusobno povezivanje nekoliko raspoređenih generatora (fotonaponske ćelije, vjetroelektrana i dizel agregati) i seta akumulatora. Obnovljivi energetska sustav se temelji na generalnoj konfiguraciji tri sabirnice, kako je prikazano na slici 1.

Te tri sabirnice su DC sabirnica, AC sabirnica, i napojna sabirnica. Izvori DC(istosmjerne) struje su fotonaponske ćelije, akumulatori, vjetroelektrane, i one su sve spojene na DC sabirnicu. Izvori AC(izmjenične) struje npr. dizelski agregat koji je spojen na AC sabirnicu. Za pretpostaviti je, da se samo koriste uređaji na izmjeničnu struju i oni su spojeni na sabirnicu za napajanje. To je stoga što su uređaji izmjenične struje izgrađeni za električnu mrežu i koriste se u naseljima gdje je mreža u funkciji.



Slika 1. Mali obnovljivi energetska sustav

Kako je prikazano na slici 1. energija proizvedena iz svih izvora se može direktno isporučiti potrošaču ili punjenju akumulatora. Ova veza se može izraziti i formulama od 1 do 3 za fotonaponski panel, vjetro turbinu i IC motore (dizel agregat).

$$U_{PV} = U_{PV,load} + U_{PV,batt} \quad (1)$$

$$U_{WT} = U_{WT,load} + U_{WT,batt} \quad (2)$$

$$U_{IC} = U_{IC,load} + U_{IC,batt} \quad (3)$$

Dostupna energija za punjenje baterije za svaki sat prikazana je formulom 4, a dostupna energija iz baterije za napajanje potrošača je prikazana formulom 5.

$$U_{batt,in} = U_{PV,batt} + U_{WT,batt} + \eta_{inv} \times U_{IC,batt} \quad (4)$$

$$U_{batt,load} = \eta_{batt} \times (U_{PV,batt} + U_{WT,batt} + \eta_{inv} \times U_{IC,batt}) \quad (5)$$

Ukupna energija za napajanje potrošača može se napisati pomoću formule 6.

$$U_{load} = \eta_{inv} \times (U_{pv,load} + U_{batt,load} + U_{WT,load}) + U_{IC,load} \quad (6)$$

Gdje je:

U_X = Proizvedena izlazna energija x (kW u jednom satu).

$U_{X,load}$ = Proizvedena izlazna energija x na potrošaču.

$U_{X,batt}$ = Proizvedena izlazna energija x spojena na akumulator (bateriju).

X = Stoji za PV(fotonapon), WT(vjetrena turb.), IC(dizel agregat).

$U_{batt,in}$ = Ulazna energija u akumulator.

$U_{batt,load}$ = Predana energija iz akumulatora potrošaču koja uzima u obzir kružni učinak

η_{inv} = Učinkovitost AC-DC ili DC-AC pretvarača.

η_{batt} = Učinkovitost kružnog puta akumulatora.

2.2. Komponente sustava i modeliranje

2.2.1. Solarne ćelije kao komponente modela

Karakteristike fotonaponske opreme u radnim uvjetima odlikuju se standardnim stanjem (1000 W/m^2 , 25°C temperatura ćelije), dok utjecaj sunčevog zračenja i temperatura okoline na fotonaponske karakteristike se modelira. Utjecaj sunčevog zračenja se modelira tako da je snaga fotonaponskog modula proporcionalna zračenju. Nadalje utjecaj temperature se prezentira kao temperaturni koeficijent snage ($\%/^\circ\text{C}$). Konačno učinak pretvarača je predstavljen kao DC izlaz, koji se pretvara u AC izlaz, kako je prikazano u jednadžbi 7.

$$U_{jysi} = P_{j=PV} \times \eta_{inv} \times \left(\frac{E_{ysi}}{E_0} \right) \times \left(1 - T_C \times (T_{ysi} - 25^\circ\text{C}) \right) \quad (7)$$

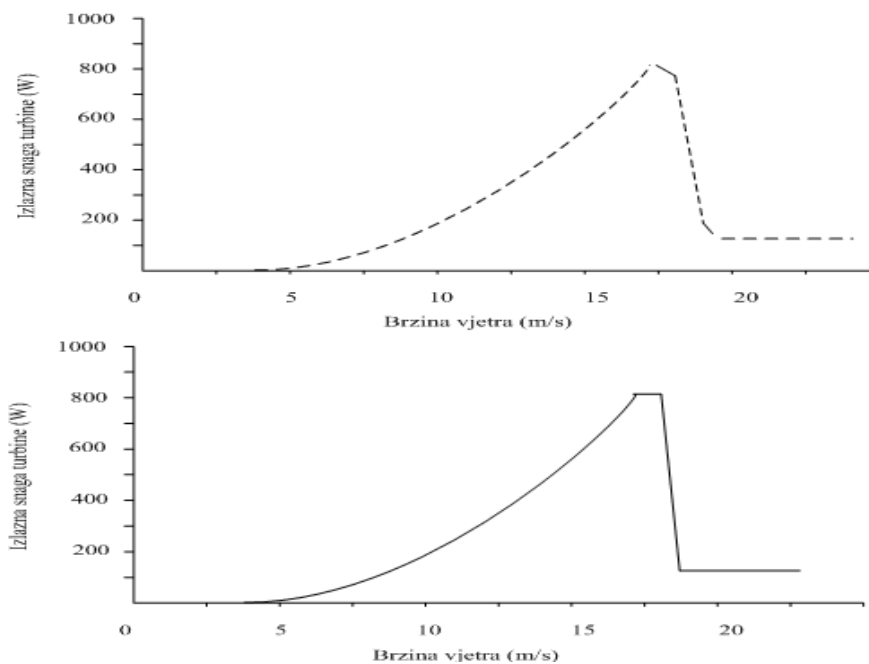
U jednadžbi vidimo da je $U_{jysi,j=PV}$ izlazna energija iz fotonaponskog sustava u godini y , sezoni s , i satu i ; $P_{j=PV}$ je maksimalna snaga fotonaponskog panela u jednom satu i ; η_{inv} je učinkovitost pretvarača; E_{ysi} je sunčevo zračenje u godini y , sezoni s , i sati i ; E_0 je sunčevo zračenje u normalnim uvjetima; T_C je temperaturni koeficijent; T je temperatura okoline u $^\circ\text{C}$.

2.2.2. Vjetroelevtrane kao komponente modela

Kod modeliranja vjetroelevtrane, krivulja snage vjetrene turbine mora biti takva da se može iskazati pomoću matematičkih jednadžbi. Npr. na slici 2 je prikazana aktualna krivulja snage za AIR403 turbinu, dobivena od proizvođača i modelirana krivulja snage dobivena prema jednadžbi 8 ($a = 3.2009$; $b = -6.8011$; $c = -14.474$; i W_{ysi} je brzina vjetra u satu i , sezoni s , godini y .)

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = \eta_{inv} \times \begin{cases} 0 & ; WS_{ysi} < 3.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c & ; 3.5 \leq WS_{ysi} < 17.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c \Big|_{WS_{ysi}=17.5} & ; 17.5 \leq WS_{ysi} < 18 \\ 130 & ; WS_{ysi} > 18 \end{cases}$$

$$U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = \eta_{inv} \times \begin{cases} 0 & ; WS_{ysi} < 3.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c & ; 3.5 \leq WS_{ysi} < 17.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c \Big|_{WS_{ysi}=17.5} & ; 17.5 \leq WS_{ysi} < 18 \\ 130 & ; WS_{ysi} > 18 \end{cases} \quad (8)$$



Slika 2. Krivulja snage turbine i modelirana krivulja snage

Valja još napomenuti da tipična vjetrena turbina ne proizvodi energiju nakon što brzina padne na manje od 5 m/s; nadalje AIR403 model, koristi jedinstvene rotorske lopatice koje nastavljaju rotirati rotor nakon što brzina vjetra opadne. Prema tehničkim podacima proizvođača izlazna snaga turbine je oko 130 W ako je brzina vjetra veća od otprilike 18 m/s.

2.2.3. Motori sa unutarnjim sagorijevanjem kao komponenta modela

Općenita karakteristika potrošnje dizel goriva na IC motoru (dizel agregat) je linearna funkcija njegove električne proizvodnje, kako je prikazano u jednadžbi 9. F_0 i F_1 su parametri koji su nužni kao ulazne veličine za navedeni model.

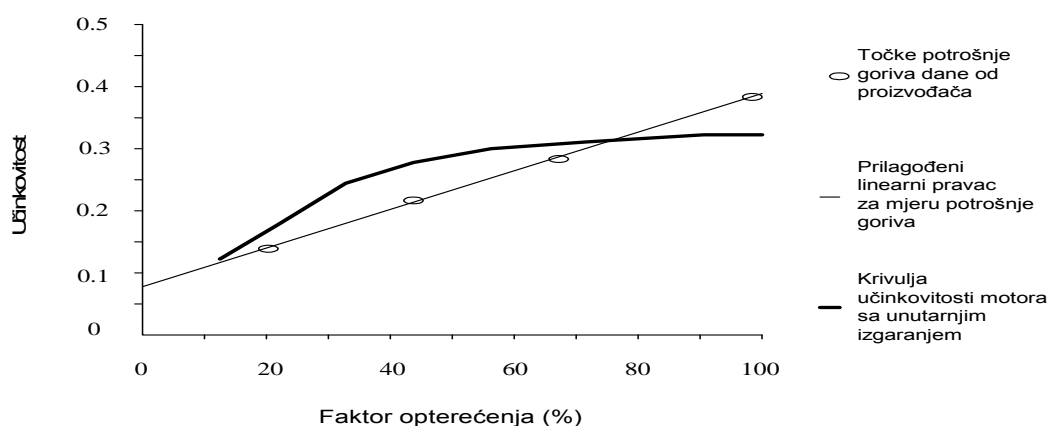
$$F = F_0 + F_1 \times U_{IC} \quad (9)$$

Gdje je:

- F = Potrošnja dizel goriva (litra/h).
- F_0 = Potrošnja dizel goriva kad nema potrošača (litra/kWh).
- F_1 = Povećanje potrošnje dizel goriva (litra/kWh).
- U_{IC} = Proizvedena električna energija u jednom satu (kWh).

U pravilu, konstante F_0 i F_1 su dane od proizvođača. Npr. tehnička karakteristika potrošnje dizel goriva za 6 kW agregat model DNAC 50 Hz je dana u l/h. Ta karakteristika potrošnje je postavljena nasuprot karakteristici proizvodnje električne energije u kWh kako je prikazano na slici 3. sa svojim prilagođenim linearnim pravcem, a pokazuje učinkovitost motora na različitim stupnjevima opterećenja. Učinkovitost za specifični faktor opterećenja je određena sa razdvajanjem ukupne energije izlaza iz agregata (BTU/h) na dijelove energija od ukupne vrijednosti potrošenog diesela (BTU/h).

Kako je vidljivo iz sl. 3. učinkovitost agregata je najveća na najvećoj točki proizvodnje a najmanja na najmanjoj točki. U pravilu niska proizvodnja vodi velikoj potrošnji goriva, velikim troškovima održavanja i uzrokuje habanje i kidanje motora. Ovo istraživanje pokazuje da je minimalna proizvodnja dizel agregata pri faktoru opterećenja 30%.



Slika 3. Karakteristika potrošnje goriva za motore sa unutarnjim izgaranjem te njihova učinkovitost bazirana na motoru DNAC 50 Hz

2.2.4. Akumulatorske baterije

Akumulatorske baterije su elektrokemijski uređaji koji skladište energiju od nekog drugog AC ili DC izvora za kasniju uporabu. Pretpostavke koje se koriste za modeliranje akumulatora: struja punjenja i pražnjenja je limitirana na 10% akumulatorskog AH (amper sat) kapaciteta; efikasnost punog toka je 95%; maksimalno stanje nabijenosti (SOC_{max}) i minimalno stanje nabijenosti (SOC_{min}) za pojedinu bateriju je 100% i 20% od njezinog AH kapaciteta.

2.3. Modeli za optimizaciju problema

2.3.1. Funkcija cilja

Odvojeni samostalni energetske sustavi u ovom istraživanju služe potrebama osamljenih i izoliranih potrošača (otoka ili sela). Plan izvedbe uzima u obračun dvadeset godišnji vijek korištenja, cijena zagađenja prirode (NO_x , SO_x i CO_2 emisije plinova), kao i pouzdanost sustava. Rezultati su optimalni prijedlozi za optimalne postavke bazirane na domaćim dostupnim energetskim izvorima. Problem je formuliran kao mješovita integracija linearnog programiranja. Funkcija cilja određivanja optimalne strukture hibridne energije sustava prikazana je u jednadžbi 10.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

(10)

Gdje je:

C_j = Suma diskontinuiranih kapitalnih troškova za proizvodnu jedinicu j (\$).

S_j = Diskontinuirana vrijednost popravaka za proizvodnu jedinicu j (\$).

Δj = Diskontinuirani troškovi goriva za proizvodnu jedinicu j . (\$/litri za IC agregate na diesel i \$/BTU za vodikove gorive ćelije na prirodni plin)

- F_{jysi} = Cijena potrošnje goriva za proizvodnu jedinicu j , u godini y , sezoni s , i satu i .
 OM_{jysi} = Trošak rada i održavanja za proizvodnu jedinicu j (\$/kWh).
 Θ_{ysi} = Broj radnih sati u godini y , sezoni s i satu i .
 am = Trošak za zagađenje okoliša, emisijskog tipa m (\$/lb).
 EF_{jm} = Faktor zračenja tehnologije j , emisijskog tipa m (lb/kWh).
 X_j = Promjenjivo rješenje koje predstavlja broj proizvodnih jedinica j .
 U_{jysi} = Promjenjivo rješenje koje predstavlja izlaznu energiju iz jedinice j , u godini y , sezoni s i satu i (kW/h).

Parametar F_{jysi} u jednadžbi 10 je linearna funkcija izlazne snage, što je rješenje promjenjivosti (U_{jysi}). Ovaj odnos se može napisati kao u jednadžbi 11 da pokaže karakteristiku potrošnje goriva dizel agregata.

$$F_{jysi} = F_{j0} \times E_{ji} + F_{j1} \times U_{jysi} \quad (11)$$

Gdje je:

- F_{j0} = Potrošnja goriva za proizvodnu jedinicu j , kada nema proizvodnje (l/kWh).
 F_{j1} = Povećanje potrošnje goriva za proizvodnu jedinicu j (l/kWh).
 U_{jysi} = Proizvedena energija u jednom satu iz proizvodne jedinice j , u godini y , sezoni s , satu i .
 E_{ji} = Odluka o postavljanju proizvodne jedinice j u upaljen ili ugašen položaj (0 = off, 1 = on) u satu i .

Iz jednadžbe 10 i 11 mogu se vidjeti tri namjere promjene vrijednosti funkcije: broj proizvodnih jedinica svih vrsta (X_j); proizvedena snaga od pojedine jedinice u pojedinom satu i (U_{jysi}); odluka kada pokrenuti ili isključiti fosilno zapaljivi motor (E_{ji}). E_{ji} je 0 kada je proizvodna jedinica j ugašena; E_{ji} je 1 kada je proizvodna jedinica u pogonu.

2.3.2. Ograničenja modela

- a) *Ograničenja energetske bilance*: satna potreba za energijom mora biti zadovoljena sa količinom proizvedene energije iz svih raspoređenih proizvodnih cjelina. Parametar S slijedi vrijednost neisporučene energije za svaki sat. Ovo ograničenje se prikazuje pomoću slijedeće jednadžbe za sve godine y , sezone s , i sate i .

$$\sum_{j=AC \text{ sources}} U_{jysi,load} | \eta_{inv} \times \sum_{j=DC \text{ sources}} U_{jysi,load} | S' \geq load_{ysi} \quad (12)$$

- b) *Ograničenja godišnje proizvodnje*: za sve proizvodne cjeline, njihova godišnja proizvodnja ne smije premašiti njihove mogućnosti za sve tehnologije tipa j .

$$\sum_{s=1} \sum_{i=1} U_{jysi} \times \Theta_{ysi} \leq avail_j \times 8760 \times P_j \times X_j \quad (13)$$

- c) *Ograničenja pojedinačnog kapaciteta*: za sve proizvodne jedinice, njihova satna proizvodnja je ograničena na njihov proizvodni kapacitet, za sve sate i .

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} \leq P_j \times X_j \quad (14)$$

- d) *Ograničenja pouzdanosti*: cjelokupna pouzdanost dizajniranog sustava mora biti veća od određene dizajnirane veličine (R).

$$1 - \frac{\sum_i S_i}{\sum_i load_{ysi}} \geq R \quad (15)$$

2.3.3. Rješenja i ograničenja vezana uz fotonaponske izvore

Promjenjiva rješenja za fotonaponsko područje su $X_j = U_{jysi}$, i $U_{jysi,j=PV}$. U prošlosti je faktor promjenjivosti predstavljao broj fotonaponskih ćelija, dok je kasnije promjenjivost rješenja predstavljala proizvedena snaga iz fotonaponskog niza u godini y , sezoni s , i satu i . Sljedeća jednadžba predstavlja efekt intenziteta sunčevog zračenja, temperature, i učinkovitost pretvarača na određenom fotonaponskom izlazu.

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = P_{j=PV} \times \eta_{inv} \times \left(\frac{E_{ysi}}{E_0} \right) \times (1 - T_c(T - 25^\circ)) \times X_{j=PV} \quad (16)$$

Gdje je:

$P_{j=PV}$ = ukupna snaga dostupna iz fotonaponskog panela u satu i ;

η_{inv} = invertna učinkovitost;

E_{ysi} = sunčevo zračenje u svakoj godini y , sezoni s , i satu i ;

E_0 = sunčevo zračenje u standardnim uvjetima (1000 W/m²);

Predzadnji faktor uzima u obzir utjecaj temperature; i posljednji faktor je integrirani faktor promjenjivosti odluke za broj fotonaponskih modula.

2.3.4. Rješenja i ograničenja vezana za vjetroelektrane

Varijabilna rješenja za vjetroelektrane su $X_{j=WT}$ (integrirani faktor promjenjivog rješenja odnosi se na broj vjetroturbina), i $U_{jysi=WT}$ (kontinuirano promjenjivo rješenje predstavlja proizvedenu snagu iz vjetroelektrane u godini y , sezoni s , i satu i). Veza između izlazne snage vjetrene turbine i ulazne brzine vjetra (WS_{ysi}) je prikazana u jednadžbi 17.

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = \eta_{inv} \times \begin{cases} 0 & ; WS_{ysi} < 3.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c & ; 3.5 \leq WS_{ysi} < 17.5 \\ a \times WS_{ysi}^2 + b \times WS_{ysi} + c \Big|_{WS_{ysi}=17.5} & ; 17.5 \leq WS_{ysi} < 18 \\ 100 & ; WS_{ysi} > 18 \end{cases}$$

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = \eta_{inv} \times \begin{cases} 0 & : WS_{ysf} < 3.5 \\ a \times WS_{ysf}^2 + b \times WS_{ysf} + c & : 3.5 \leq WS_{ysf} < 17.5 \\ a \times WS_{ysf}^2 + b \times WS_{ysf} + c \Big|_{WS_{ysf}=17.5} & : 17.5 \leq WS_{ysf} < 18 \\ 130 & : WS_{ysf} > 18 \end{cases} \quad (17)$$

2.3.5. Rješenja i ograničenja vezana za motore sa unutarnjim izgaranjem

Varijabilna rješenja za IC motore (dizel agregate) su $X_{j=IC}$ i $U_{jysi,j=IC}$. Nekada je važna ukupna promjenjivost rješenja predstavljala odluku odabrati agregat ili ne. Kasnije je kontinuirana promjenjivost rješenja predstavljala izlaznu snagu iz IC motora u godini y , sezoni s , i satu i . Sljedeće jednadžbe predstavljaju proizvodne karakteristike od IC motora. One pokazuju da proizvedena snaga iz IC motora u svakom satu i , može uzeti vrijednost 0, ili neku drugu vrijednost između minimuma proizvodnje (što je oko 30% maksimalne snage) i maksimuma proizvodnje (maksimalna snaga), ako je IC motor odabran. Gdje je $P_{j=IC}$ ukupna snaga iz IC motora.

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} \leq \eta_{inv} \times P_{j=IC} \times X_{j=IC}$$

$$U_{jysi} = U_{jysi,load} + U_{jysi,batt} = 0 \text{ ili}$$

$$= \left[0.3 \times \eta_{inv} \times P_{j=IC} \times X_{j=IC}, \quad \eta_{inv} \times P_{j=IC} \times X_{j=IC} \right] \quad (19)$$

2.3.6. Rješenja i ograničenja akumulatora

Veličina kapaciteta akumulatora se mjeri u njegovoj amper-satnoj jakosti(AH). Varijabilna rješenja za akumulatora su $X_{j=batt}$ (integrirano promjenljivo rješenje koje predstavlja broj akumulatora), i $U_{jysi,batt}$ (kontinuirano promjenljivo rješenje koje predstavlja izlaznu snagu iz akumulatora ili $U_{batt,load}$ u godini y , sezoni s , i satu i).

Ograničenja koja predstavljaju maksimalno dopušteno punjenje i pražnjenje struje moraju biti manja od 10% akumulatorskog AH kapaciteta i prikazana su u sljedećim jednadžbama.

$$\sum_{j=DC \text{ sources}} U_{jysi,batt} + \eta_{inv} \times \sum_{j=AC \text{ sources}} U_{jysi,batt} \leq (0.1 \times V_{sys} \times P_{j=batt} \times X_{j=batt}) \quad (20)$$

$$U_{jysi,load} \leq (0.1 \times V_{sys} \times P_{j=batt} \times X_{j=batt}) \quad (21)$$

Gdje je

parametar V_{sys} napon sustava na DC sabirnici a

parametar $P_{j=batt}$ je kapacitet baterije u AH.

Stanje punjenja (SOC) akumulatora za svaki sat i može se dobiti praćenjem punjenja i pražnjenja energije iz akumulatora, kako je prikazano u jednadžbi 22.

$$SOC_i = SOC_{max} - \sum_{n=0}^i \left(U_{jysi,batt} \right) + \sum_{i=0}^i \left(\sum_{n=DC \text{ sources}} U_{jysi,batt} + \eta_{inv} \times \sum_{j=AC \text{ sources}} U_{jysi,batt} \right) \quad (22)$$

Važno je da se stanje punjenja akumulatora za svaki sat i može pratiti da bi se spriječilo previsoko ili prenisko opterećenje. Povezano ograničenje može se formulirati uspoređivanjem stanja punjenja(SOC) akumulatora za svaki sat i sa SOC_{min} akumulatora i sa SOC_{max} akumulatora kao u jed. 23. Ovo istraživanje upućuje na to da je SOC_{min} i SOC_{max} isto što i 20% i 100% vrijednosti AH kapaciteta akumulatora. Isto je tako zamišljeno da inicijalno stanje punjenja akumulatora je 100% kada se počne sa simulacijom.

$$SOC_i \leq SOC_{max}$$

$$SOC_i \leq SOC_{min} \quad (23)$$

Na kraju, da bi sustav sa akumulatorom bio uravnotežen za duži period, stanje kapaciteta akumulatora na kraju simulacije mora biti veće od dobivenog postotka za njegov maksimalni kapacitet. Ovo istraživanje pokazuje 90%, kako je prikazano u jednadžbi 24.

$$SOC_{i=n} \geq 0.9 \times SOC_{max} \quad (24)$$

3. SIMULACIJA U PROGRAMSKOM ALATU

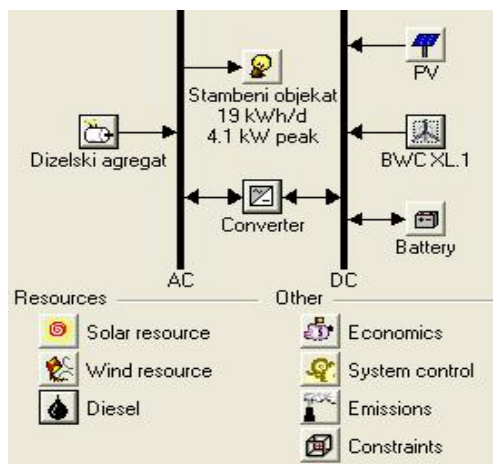
Računalnim programom za optimizaciju, koji vrednuje ocjenu isplativosti samostalnih sustava i sustava povezan je s elektroenergetskom mrežom u raznim primjenama. Omogućava se definiranje modela s ulaznim podacima, koji opisuju tehnološke izbore, cijene komponenata, i raspoloživost izvora. Podaci se koriste za simulaciju različitih konfiguracija sustava, ili kombinaciju komponenata, i daje rezultate koji se mogu vidjeti kao lista ostvarivih konfiguracija sortiranih prema cijeni. Rezultati simulacija su prikazani i u različitim tablicama i dijagramima, te pomažu pri usporedbi konfiguracija i procjenama prema njihovim ekonomskim i tehničkim vrijednostima.

Ako se želi istraživati efekt promjena uzrokovanih čimbenicima kao što su raspoloživost resursa i ekonomskih uvjeta, te ekonomičnošću drugačijih konfiguracija sustava, može se provesti analiza osjetljivosti. Pri izvođenju analize, pribavljaju se vrijednosti koje opisuju raspon promjene raspoloživosti sredstava i cijena komponenti. Program simulira svaku konfiguraciju sustava preko raspona vrijednosti. Rezultate analize osjetljivosti koriste se za identifikaciju čimbenika koji imaju najveći učinak na oblikovanje i rad sustava. Na osnovu rezultata proračuna analize osjetljivosti i odgovora o izboru tehnologije može se donijeti odluke o planiranju i upravljanju sustavom.

Simulira se rad sustava izračunavajući energetske bilancu za svaki od 8760 sati u godini. Za svaki sat, uspoređuju se električni i toplinski zahtjevi tereta prema energiji koju taj sustav može opskrbiti i računaju se tokovi energije prema i od svake komponente sustava. Za sustave koji uključuju baterije ili gorivom pokretane generatore, programski paket Homer također odlučuje (svaki sat) o upravljanju generatorima i režimu rada akumulatora (punjenje i pražnjenje). Programski paket Homer proračunava energetske bilance za svaku konfiguraciju sustava koja se želi razmotriti, određuje da li je konfiguracija ostvariva, tj. može li udovoljiti zahtjevima korisnika, procjenjuje cijenu instaliranja, rada i održavanja sustava u životnom vijeku projekta. Sustavne troškovničke računice obuhvaćaju cijene kao na primjer investicije, zamjene, upravljanje i održavanje te cijenu goriva i kamata. Nakon simulacija mogućih konfiguracija sustava, daje se lista konfiguracija, sortiranih prema troškovima, koje se mogu iskoristiti za usporedbu izbor dizajniranih sustava.

Zadatak je za proizvoljni model sustava izvršiti simulaciju u programskom paketu Homer. Simuliran je proces napajanja izdvojenog stambenog objekta pomoću vjetroturbine, solarnih ćelija i dizel agregata gdje je uzeta u obzir analiza osjetljivosti srednje brzine vjetra [m/s] i dnevne sunčeve insolacije [kWh/m/d]. Projekt je zamišljen na životnom vijeku od dvadeset godina uz godišnju kamatu od 6 %.

Na slici 4. je prikazan model mreže koji napaja stambeni objekt pomoću tri glavna izvora vjetroturbine, solarnih ćelija i dizelskog agregata.



Slika 4. Prikaz modela mreže

Mreža koristi dizelski agregat >5kW, izmjenjivač >4kW, baterije Trojan T-105 >28 kom., vjetroturbinu BWC XL.1 >4 kom., solarne ćelije (PV) >2 kW te stambeni objekt potrošne energije 8.16 kWh/d sa vršnim opterećenjem snage 4.1 kW.

Rezultati simulacije, prikazani su na slici 5 Rezultati simulacije u Homeru, daju optimalna rješenja za angažmane pojedinih elemenata modela. Program na prvo mjesto satavlja model koji sadrži vjetroelektranu, dizel agregat i baterije s izmjenjivačem. Drugu predloženu konfiguraciju proširio je solarnim ćelijama.

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

Global Solar (kWh/m²/d)

3.95

Wind Speed (m/s)

5.5

Double click on a system below for simulation results.

☒ Categorized

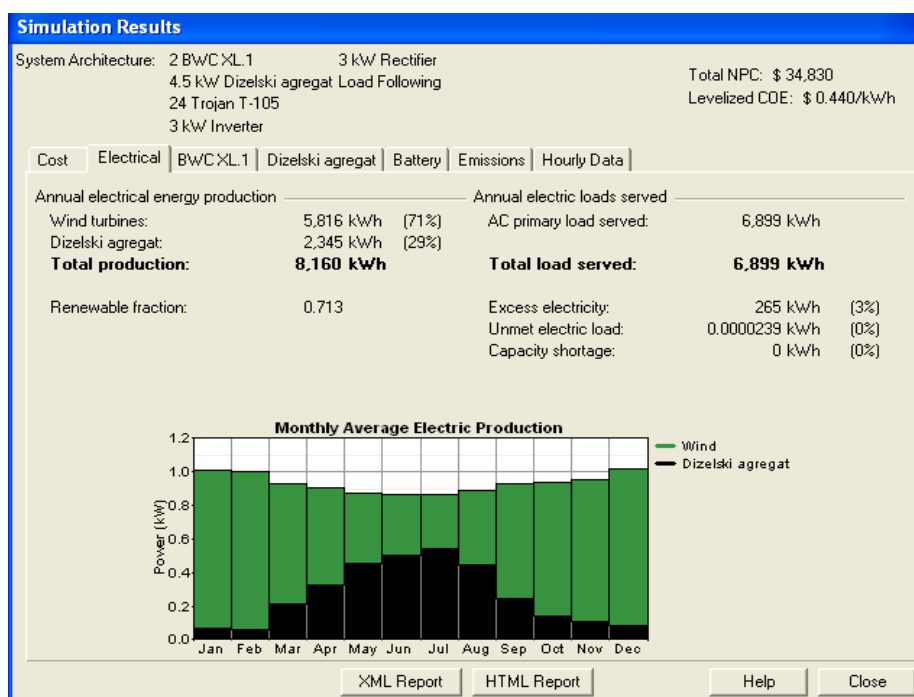
☐ Overall

Export

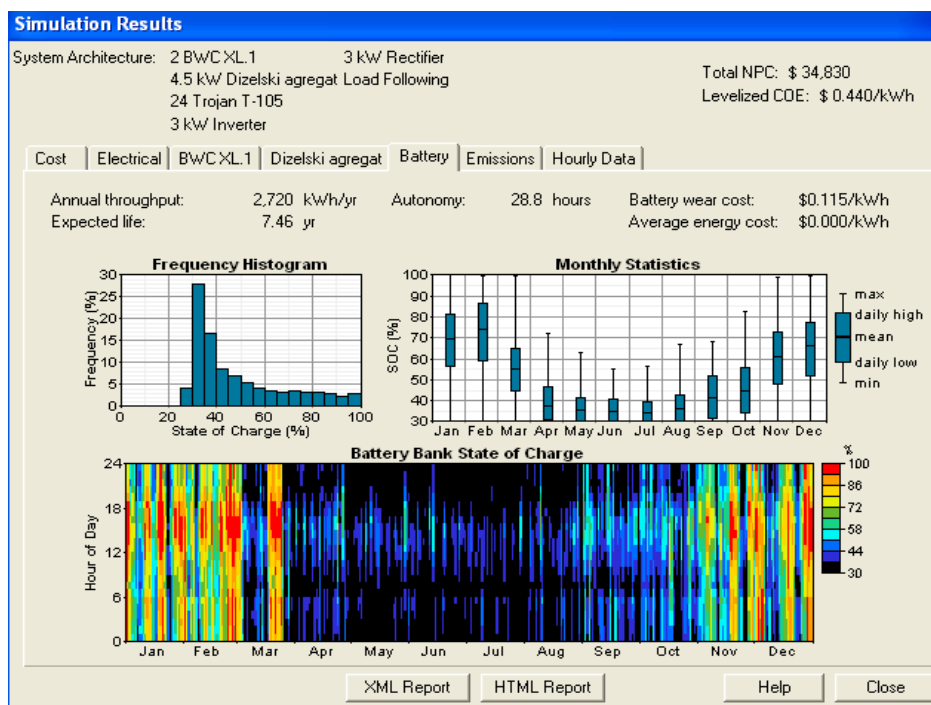
| | | PV (kW) | XL1 | 4.5kW (kW) | Batt. | Conv. (kW) | Disp. Strgy | Initial Capital | Total NPC | COE (\$/kWh) | Ren. Frac. | Diesel (L) | 4.5kW (hrs) |
|--|--|---------|-----|------------|-------|------------|-------------|-----------------|-----------|--------------|------------|------------|-------------|
| | | | 2 | 4.5 | 24 | 3.0 | LF | \$ 20,189 | \$ 34,830 | 0.440 | 0.71 | 693 | 1,560 |
| | | 0.5 | 2 | 4.5 | 24 | 3.0 | LF | \$ 24,607 | \$ 36,941 | 0.467 | 0.78 | 543 | 1,227 |
| | | | | 4.5 | 16 | 1.6 | CC | \$ 5,916 | \$ 37,873 | 0.479 | 0.00 | 2,014 | 2,784 |
| | | 0.5 | | 4.5 | 16 | 1.6 | CC | \$ 10,334 | \$ 39,648 | 0.501 | 0.10 | 1,839 | 2,802 |
| | | | | 4.5 | | | CC | \$ 2,890 | \$ 69,776 | 0.882 | 0.00 | 4,001 | 8,760 |
| | | | 2 | 4.5 | | 1.6 | CC | \$ 16,812 | \$ 70,388 | 0.890 | 0.35 | 3,139 | 7,176 |
| | | 0.5 | 2 | 4.5 | | 1.6 | CC | \$ 21,230 | \$ 70,689 | 0.893 | 0.40 | 2,907 | 6,626 |
| | | 1.0 | | 4.5 | | 1.6 | CC | \$ 13,361 | \$ 72,552 | 0.917 | 0.11 | 3,543 | 7,699 |

Slika 5. Prikaz rezultata simulacije

Osim optimalnih konfiguracija dobijamo i pregršt dodatnih informacija od kojih bi izdvojili električne veličine kroz prikaz angažmana vjetroelektrane i dizel agregata, slika 6. Upotreba akumulatora prilikom skladištenja energije dobivenih iz obnovljivih komponenti sustava prikazana je slikom 7.



Slika 6. Sudjelovanje vjetroelektrane i dizel agregata u opskrbi potrošača



Slika 7. Sudjelovanje akumulatora kao skladišta energije u opskrbi potrošača

4. ZAKLJUČAK

Rad obrađuje i predstavlja optimizacijski model koji se koristi za izradu optimalne strukture manjeg sustava obnovljivog izvora energije, uzevši u obzir troškove životnog vijeka sustava, dostupnost izvora, ekoloških troškova i uvjeta pouzdanosti. Opisan je matematički model za svaku tehnologiju proizvodnje, sa rješenjima promjenjivosti i odgovarajućim ograničenjima. Modelirani sustav uvelike ovisi o dostupnosti pojedinih izvora na lokalnoj razini. Istraživanje preporuča korištenje sunčevih izvora i izvora vjetra koji predstavljaju skup klimatskih podataka u jednoj godini. Zbog toga skup podataka predstavlja tipične vremenske uvjete. Simulacija izvršena u programskom paketu Homer, a obuhvaća sve aspekte za traženje optimalnog sustava.

Međusobnom usporedbom optimalnih sustava napajanja za različite vremenske intervale trajanja opterećenja, dolazi se do zaključka da su obnovljivi izvori energije zasad isplativi u slučaju kontinuiranog opterećenja. Razlog tomu je velik investicijski trošak sustava koji koriste obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije (posebice PV modula).

Sva rješenja zasnivaju se na generatoru kao glavnom izvoru energije, dok obnovljivi izvori energije služe za pokrivanje manjeg dijela opterećenja. U stvarnom samostalnom energetsom sustavu agregat je priključen direktno na sabirnice većih potrošača (pumpa za vodu, električno grijalo vode), dok obnovljivi izvori energije i baterije pokrivaju prosječna opterećenja (rasvjeta, TV, računalo, hladnjak i sl.).

Računalni simulacijski programi služe kao pomoć pri odabiru najboljeg rješenja napajanja dislociranih potrošača. Iz simulacije vidljiva je ovisnost sustava o dizel agregatu i akumulatorima što je i za očekivati jer se koriste dopunski izvori energije. Stvarno ponašanje sustava je moguće predvidjeti i matematički modelirati.

LITERATURA

- [1] Diplomski rad, Modeliranje obnovljivih izvora električne energije, Mato Lovtrenović, Osijek 2009.

- [2] Diplomski rad: Analiza i optimizacija različitih mogućnosti napajanja nn objekata iz obnovljivih izvora energije, Marijan Marković, Osijek 2007.
- [3] <http://uniled.hr/solarni-kolektori>
- [4] Further information of HOMER is available online at <http://analysis.nrel.gov/homer>, viewed as of 2004.
- [5] Pryor, T.L. and Wilmot, N.A., "The effect of PV array size and battery size on the economics of PV/Diesel/Battery hybrid RAPS systems", Solar '96 ANZSES, Darwin, October 1996.
- [6] Jennings, S. U., "Development and application of a computerized design tool for remote area power supply systems", Ph.D. Thesis, Murdoch University, 1996.
- [7] Schaffrin, C., *et al*, "SolSim and hybrid designer: self optimizing software tools for simulation of solar hybrid applications", in *Proc. at EuroSun'98*, September 1998, Portoroz.