

DOI: [10.46793/CIGRE37.C4.07](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C4.07) C4.07**C4.07****РАЗВОЈ АПЛИКАЦИЈЕ ЗА ПРЕДИКТИВНУ АНАЛИЗУ ХИБРИДНИХ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИХ СИСТЕМА****DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR PREDICTIVE ANALYSIS OF HYBRID
POWER SYSTEMS****Жељана Ристић, Јелена Балшић, Милета Жарковић***

Кратак садржај: Обновљиви извори енергије, попут соларних панела и ветроагрегата, играју кључну улогу у модерним системима за напајање, јер значајно смањују зависност од фосилних горива и доприносе одрживом развоју. За анализу и прорачуне система са обновљивим изворима енергије могу се користити различити софтверски алати и програми. У овом раду коришћен је MATLAB GUI (*Graphical User Interface*), алат који омогућава креирање интерактивних апликација са графичким интерфејсом, чиме се олакшава рад са сложеним алгоритмима и анализама. Рад представља апликацију која омогућава основну анализу хибридног система за напајање изолованих потрошача. Систем се састоји од фотонапонских модула, ветроагрегата, акумулаторских батерија, дизел агрегата и уређаја за конверзију електричне енергије, који заједно обезбеђују напајање потрошача променљиве снаге. Овај хибридни систем представља ефикасан начин за напајање у условима где није могуће прикључење на јавни дистрибутивни систем. Апликација омогућава корисницима да интерактивно подесе параметре система, као што су температура, соларна ирадијација, брзина ветра и капацитет батерија. Пре тога, корисницима је омогућено да учитају временске серије: потрошње енергије, амбијенталне и временске услове и да искористе предност неуралних мрежа како би предвидели будуће 24-часовне дијаграме која се користе у апликацији. Поред тога, апликација визуализује производњу енергије из обновљивих извора, стање напуњености батерија и одређује када је потребно активирати дизел агрегат. Управљачка логика апликације са сатном временском резолуцијом даје приоритет обновљивим изворима, затим батеријама, а дизел агрегат се укључује само када је то неопходно. Тестирањем апликације за различите временске услове и нивое потрошње, добијени су резултати који потврђују ефикасност предложеног система и његову способност да се прилагођава променама у окружењу и захтевима за енергијом.

* Жељана Ристић, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, zeljanaristic072@gmail.com
Јелена Балшић, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, jelenabalsic02@gmail.com
Милета Жарковић, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, mileta@etf.rs

Кључне речи: : *MATLAB GUI, обновљиви извори, хибридни системи, неуралне мреже*

Abstract: Renewable energy sources, such as solar panels and wind turbines, play a crucial role in modern power supply systems, significantly reducing dependence on fossil fuels and contributing to sustainable development. Various software tools and programs can be used for the analysis and calculations of systems that incorporate renewable energy sources. In this study, MATLAB GUI (Graphical User Interface) was utilized as a tool for creating interactive applications with a graphical interface, making it easier to work with complex algorithms and analyses. The paper presents an application designed for the fundamental analysis of a hybrid power supply system intended for isolated consumers. The system consists of photovoltaic modules, wind turbines, battery storage, a diesel generator, and power conversion devices, all working together to provide power to consumers with variable demand. This hybrid system represents an efficient solution for supplying electricity in locations where connection to the public distribution network is not feasible. The application allows users to interactively adjust system parameters, such as temperature, solar irradiation, wind speed, and battery capacity. Before performing the analysis, users can upload time-series data related to energy consumption, ambient conditions, and weather parameters. Additionally, the application leverages neural networks to predict 24-hour load and generation profiles, which are then used in the analysis. The application also visualizes energy production from renewable sources, monitors battery charge levels, and determines when the diesel generator needs to be activated. The control logic, operating with an hourly time resolution, prioritizes renewable energy sources first, followed by battery storage, while the diesel generator is activated only when necessary. Testing the application under various weather conditions and load levels has demonstrated the efficiency of the proposed system and its ability to adapt to environmental changes and energy demand fluctuations.

Key words: : *MATLAB GUI, renewable energy sources, hybrid systems, neural networks*

1 УВОД

Обновљиви извори енергије играју све значајнију улогу у савременим енергетским системима, смањујући зависност од фосилних горива и доприносећи одрживом развоју. Иако је производња електричне енергије из угља, као и емисија CO₂, достигла историјски максимум, глобална енергетска транзиција је већ у току. Ветроелектране и соларни панели се све више интегришу у електроенергетске системе широм света, не само у појединим земаљама, већ на глобалном нивоу. Очекује се да ће ови извори обезбедити велики део “чисте” енергије потребне за постепено укидање фосилних горива, истовремено повећавајући енергетску сигурност, у складу са концептом одрживог развоја. Један од система који доприноси ефикаснијем управљању обновљивим изворима енергије јесте хибридни систем напајања. Овај систем комбинује фотонапонске (PV) модуле, ветроагрегате, батерије и дизел-агрегате, омогућавајући поуздано снабдевање електричном енергијом чак и у условима варијабилности обновљивих извора [1]. Основна логика рада подразумева да се потрошња првенствено напаја из PV система и ветроагрегата, док се вишак енергије складишти у батеријама или усмерава ка специјалним потрошачима (*dummy loads*), попут система за хлађење и загревање, пумпи за воду и расвете у случају опасности. Када генерисана снага није довољна да задовољи потрошњу, прво се користе резерве из батерија, а затим се активирају дизел-агрегати као последња опција [2].

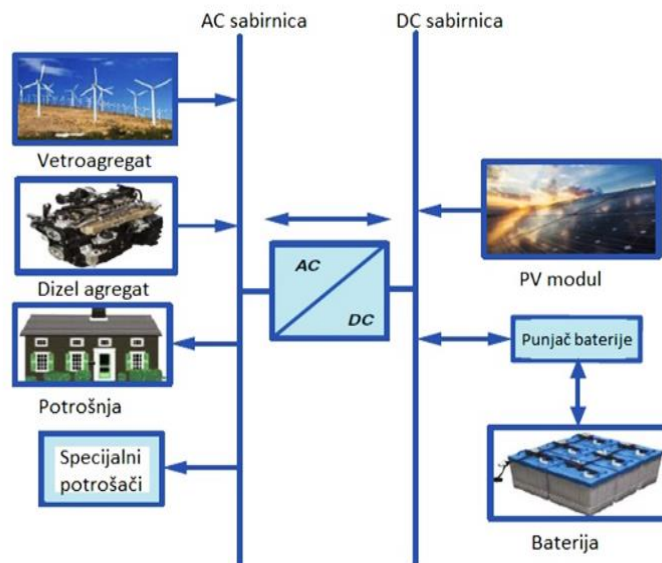
У анализи хибридних система напајања користе се различити софтверски алати и методе симулације. Међутим, потреба за флексибилним и кориснички оријентисаним алатима који омогућавају интерактивну анализу и визуелизацију рада система и даље постоји. Мотивисана овом потребом, развијена је MATLAB GUI апликација која има за циљ да омогући ефикасну анализу хибридног система за напајање изолованих потрошача, са посебним фокусом на утицај ручно унетих података о потрошњи и праћење вишка произведене енергије. Допринос овог рада огледа се у развоју интерактивног MATLAB GUI окружења које интегрише основне компоненте хибридног система и пружа могућност визуелизације кључних параметара.

Циљ овог рада је развој и презентација MATLAB GUI апликације која омогућава интерактивну анализу хибридног система за напајање изолованих потрошача, укључујући фотонапонске модуле, ветроагрегате, батерије и дизел-агрегате, са могућношћу ручног уноса потрошње и визуелизације кључних параметара рада система. Главна предност развијене апликације је примена вештачких неуралних мрежа (*Artificial Neural Networks - АНН*) за предикцију дијаграма потрошње електричне енергије и дијаграма производње из обновљивих извора енергије у хибридном систему. Формирани АНН модели се базирају на временским серијама података о производњи и потрошњи електричне енергије заједно са метеоролошким параметрима. Добијени прелиминарни резултати указују на ефикасност оваквог приступа у предиктивној анализи и потенцијалној оптимизацији рада хибридног система за напајање.

Рада је организован на следећи начин: прво поглавље представља увод у рад, у другом поглављу су представљени теоријска основа и модели који су коришћени за симулацију компоненти система. Треће поглавље детаљно описује развој MATLAB GUI апликације, укључујући њену архитектуру и имплементацију кључних функција, као и прорачуне. У четвртом поглављу су приказани и дискутовани резултати симулација. На крају, у петом поглављу, изнет је закључак и размотрене су могућности за даљи развој апликације.

2 ТЕОРИЈСКО ОБЈАШЊЕЊЕ

Конфигурација хибридног система, чији је рад симулиран, приказана је на Слици 2.1. Главна потрошња се првенствено напаја из ветроагрегата и PV модула путем двосмерног претварача. Вишак произведене енергије из PV система и ветроагрегата се складишти у батеријама, све док батерије не достигну свој максимални капацитет. Уколико батерије достигну максимум, вишак енергије се усмерава ка специјалним потрошачима (*dummy loads*), као што су уређаји за хлађење и грејање, пумпе за воду као и батерије за напајање светала у случају опасности. Уколико потрошња енергије премаши генерисану енергију, дефицит се прво покрива из батерије све док се њен капацитет не смањи на минимални ниво. У случају да батерија постане празна, а производња из PV модула и ветроагрегата не може задовољити потребе оптерећења, активира се дизел-агрегат као резервни извор енергије. [3] Ефикасно моделовање и симулација рада оваквих хибридних система кључни су за разумевање њиховог понашања у различитим радним условима и за оптимизацију њиховог дизајна и управљања.



Слика 2.1: Хибридни систем

2.1 Фотонапонски модули (PV модули)

Фотонапонски модули користе енергију сунчевог зрачења за производњу електричне енергије. Количина произведене енергије зависи од различитих фактора, од којих су најважнији: интензитет сунчевог зрачења (ирадијација), температура модула и коси угао под којим су модули постављени. У оптималним условима (при температури од 25°C и ирадијацији од 1000 W/m^2), модули производе називну снагу. Хибридни PV систем поред дизел-агрегата садржи и соларне панеле са фотонапонским ћелијама, инвертор (претварач DC у AC), регулатор пуњења, батерије (акумулаторе), контролну и управљачку електронику, дистрибуциони панел и заштитну опрему. Потрошњу у периодима са смањеном ирадијацијом покрива дизел-агрегат (у случају облачних и кишовитих дана, зимских периода са кратким даном или ноћних часова). Такође, ако ограничен капацитет батерија није у могућности да напаја систем, потребно је да се активира дизел-агрегат. У овом систему је погодно користити вишенаменски инвертор-пуњач, који као такав обавља две улоге-улогу инвертора и пуњача. Инвертор – претвара једносмерну струју из батерија у наизменичну струју која се користи за напајање потрошача. Пуњач батерија – користи наизменичну струју из спољашњег извора (дизел агрегат или мрежа) и пуни батерије претварајући ту струју у једносмерну. Дизел генератор може да се димензионише само за пуњење батерија или за истовремено пуњење батерија и подмиривање потрошње. Већина хибридних система користи акумулаторске батерије за складиштење енергије. Хибридни фотонапонски системи се најчешће примењују за напајање потрошача који су удаљени од мреже, јер обезбеђују поуздано снабдевање електричном енергијом уз оптималан рад са техно-економског аспекта. Ови системи омогућавају већу сигурност и расположивост испоруке електричне енергије, што захтева мање капацитете акумулаторских батерија за складиштење електричне енергије. Фотонапонски модули разматрани у овом раду моделовани су као генератори називне снаге P_{dc} (*Standard Test Conditions*) при стандардним тест условима (температури модула од 25°C и ирадијацији на хоризонталној површини од 1000 W/m^2). Снага модула у реалним условима експлоатације изражена је формулом:

$$P_{DC} = P_{DC}(STC) * \left(1 - 0,005 * \left(T_{amb} + 30 * \frac{I_h \left[\frac{W}{m^2} \right]}{1000} - 25 \right) \right) * \frac{I_h [W/m^2]}{1000} \quad (1)$$

где су:

T_{amb} [°C] – измерена амбијентална температура, а I_h [W/m²] - измерена ирадијација Сунца на хоризонталној површини

2.2 Ветроагрегат

Представља комплетан функционални склоп система за електромеханичку конверзију енергије ветра, који чине ветротурбина, редуктор, ветрогенератор, блок трансформатор, системи за контролу и управљање и стуб са темељом. Ветроагрегати користе кинетичку енергију ветра за производњу електричне енергије.[4] Снага ветроагрегата зависи од брзине ветра и карактеристика турбине. Обично се користи функција снаге која описује промену снаге са променом брзине ветра. Снаге модерних ветрогенератора обично се крећу у опсегу од 100 kW до 5 MW, са максималним степеном искоришћења од око 45%. Ветроагрегати су окарактерисани зависношћу промене снаге агрегата од брзине ветра. Зависност брзине ветра v од висине изнад тла h се може изразити на следећи начин:

$$v_2(h_2) = v_1(h_1) * \frac{\ln \frac{h_2}{0.2}}{\ln \frac{h_1}{0.2}} \quad (2)$$

v_2 -брзина ветра на висини (h_2)

v_1 -брзина ветра на висини (h_1) изнад земље

h_0 - дужина храпавости за дати смер ветра (у овом случају износи 0.2)

2.3 Акумулаторске батерије

Акумулаторске батерије су кључне компоненте хибридних система јер омогућавају складиштење енергије у периодима ниске потрошње. Та енергија се може искористити у периодима високог оптерећења или недостатка производње из обновљивих извора. Батерије имају свој максимални капацитет, изражен у kWh, као и минимални капацитет до којег могу бити испразњене како би се продужила њихова трајност. Осим складиштења енергије, акумулаторске батерије обезбеђују:

- способност система да издржи полазне струје мотора и
- могућност контролисања излазног напона PV модула.

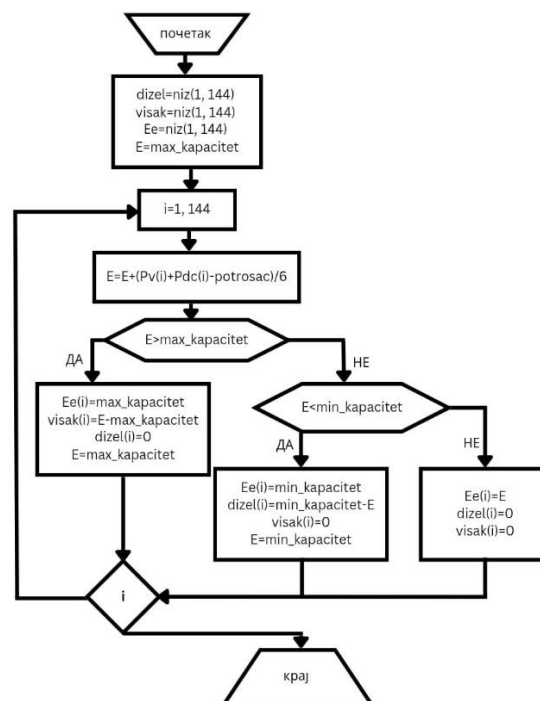
Код PV система је погодно користити дуготрајне батерије са пражњењем и са великим бројем циклуса пуњења и пражњења.

2.4 Дизел-агрегати

Улога дизел-агрегата у хибридним системима је да обезбеди поуздано напајање критичних оптерећења и да спречи прекиде у снабдевању електричном енергијом. У хибридним системима, дизел-агрегати се користе за покривање недостатка енергије, али не учествују у пуњењу батерија. Снага дизел-агрегата се одређује као разлика између

снаге потребне за подмиривање потрошње и снаге која је произведена из обновљивих извора. У моделу хибридног система развијеном у овој апликацији, рад дизел-агрегата се активира када ниво напуњености батерије падне испод дефинисаног минималног капацитета, а производња из обновљивих извора је недовољна да покрије потражњу. Снага дизел-агрегата се у овом поједностављеном моделу одређује као разлика између тренутне потрошње и збирне снаге произведених од стране фотонапонских модула и ветрогенератора.

Основна логика управљања енергијом у хибридном систему симулираном у овој апликацији заснива се на хијерархијском приступу, са приоритетом коришћења обновљивих извора енергије, затим складиштене енергије у батеријама, и на крају, активирања дизел-агрегата као резервног решења. Одлуке о коришћењу енергије у сваком временском кораку симулације доносе се на основу тренутне производње, потрошње и стања напуњености батерије. Итеративни алгоритам који је представљен на слици 2.4.1. представља сликовит приказ Matlab кода који је коришћен за добијање тренутака када је потребно да се активира дизел-агрегат. Циљ алгоритма је одржавање нивоа енергије у батерији између минималног и максималног капацитета, коришћење вишка из обновљивих извора када је могуће, и укључивање дизел агрегата само када је енергија испод минимума. Подаци о производњи и потрошњи који су коришћени добијени су са десетоминутном резолуцијом у периоду од 24 сата и на тај начин је добијено 144 податка.



Слика 2.4.1: Дијаграм управљања потрошњом

3 РАЗВОЈ МАТЛАВ АПЛИКАЦИЈЕ И ПОСТАВКА ПРОРАЧУНА

У програмском језику Matlab написан је код који омогућава симулацију рада хибридног система и праћење стања у систему услед променљивости потрошње. Уз коришћење опције Графичког корисничког интерфејса (GUI) направљена је апликација која кориснику омогућава транспарентност прорачуна. Апликација је структурирана у

неколико кључних компоненти које омогућавају унос података, симулацију рада хибридног система и визуелизацију резултата.

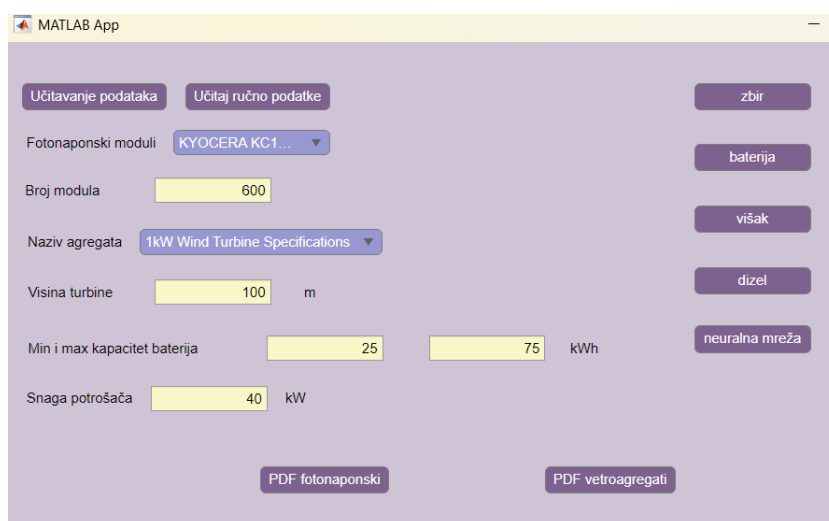
3.1 Архитектура апликације

Основна архитектура апликације обухвата следеће главне компоненте:

- Кориснички интерфејс (GUI) садржи визуелне елементе за интеракцију са корисником, укључујући прозоре, поља за унос текста, падајуће меније,
- Функције за унос података,
- Функције за прорачун снаге обновљивих извора,
- Функција за симулацију рада хибридног система и
- Функције за визуелизацију резултата (*callback* функција за графички приказ)

3.2 Кориснички интерфејс (GUI)

Кориснички интерфејс апликације, приказан на Слици 3.2.1, дизајниран је са циљем да буде интуитиван и једноставан за коришћење, омогућавајући корисницима да лако уносе потребне податке, покрећу симулације и прегледају резултате.



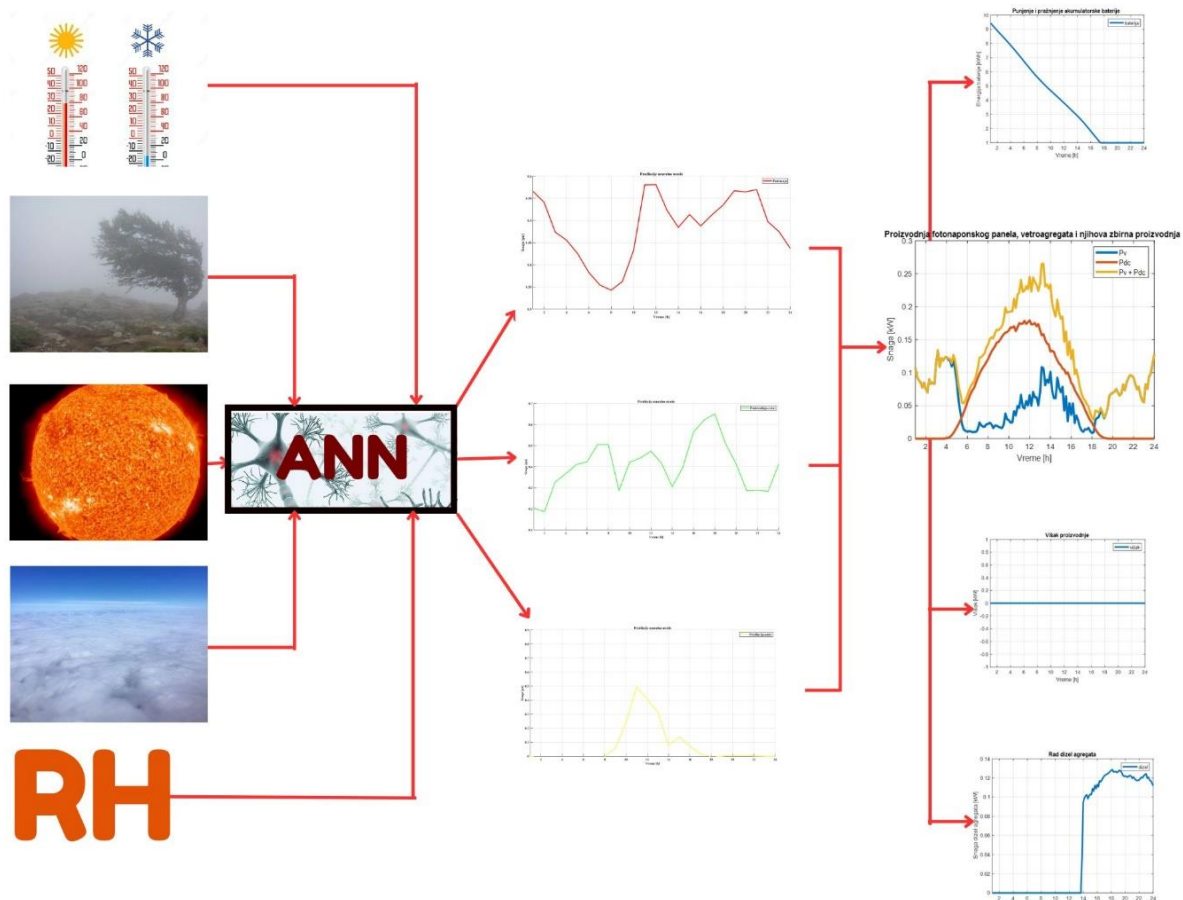
Слика 3.2.1: Дијаграм управљања потрошњом

3.3 Поставка симулације и прорачунски модел

Прорачуни су изведени за хибридни систем, чији је блок дијаграм приказан на Слици 3.3.1, који је осмишљен да покрије потрошњу електричне енергије у условима променљиве инсолације, брзине ветра, температуре и потрошње. У првом кораку, врши се моделовање радних параметара PV система који обезбеђује снагу на основу мерења и временских услова. За прорачун ових параметара користи се стандардни модел са температуром од 25°C и ирадијацијом од 1000 W/m². Кориснику је омогућено да изабере тип панела, број модула, називну снагу ветроагрегата као и максимални и минимални капацитет батерије. Корисник може да унесе и снагу своје константне потрошње, али је може и задати као 24-сатни улазни податак. На десној страни интерфејса налазе се ознаке "збир", "батерија", "вишак", "дизел" и "неурална мрежа", што сугерише да апликација прати и анализира укупну производњу енергије, стање батерија, вишак произведене енергије, могућност коришћења дизел агрегата као резерве и потенцијалну примену

неуралних мрежа за управљање или предвиђање. У доњем делу интерфејса постоје дугмад "PDF fotonaponski" и "PDF vetroagregati", која омогућавају приступ детаљним спецификацијама одабраних фотонапонских модула и ветрогенератора у PDF формату. Прорачун почиње од почетног пуњења батерија и даље се прати како промена потрошње и промена генерисане соларне енергије утичу на ниво напуњености батерије.

Улазни параметри неуралне мреже обухватају температуру ваздуха, брзину ветра, соларну ирадијацију, облачност и релативну влажност, јер директно утичу на производњу енергије из соларних и ветроенергетских извора. Ови подаци омогућавају моделу да прецизно предвиди варијабилну производњу у условима променљивих атмосферских фактора.



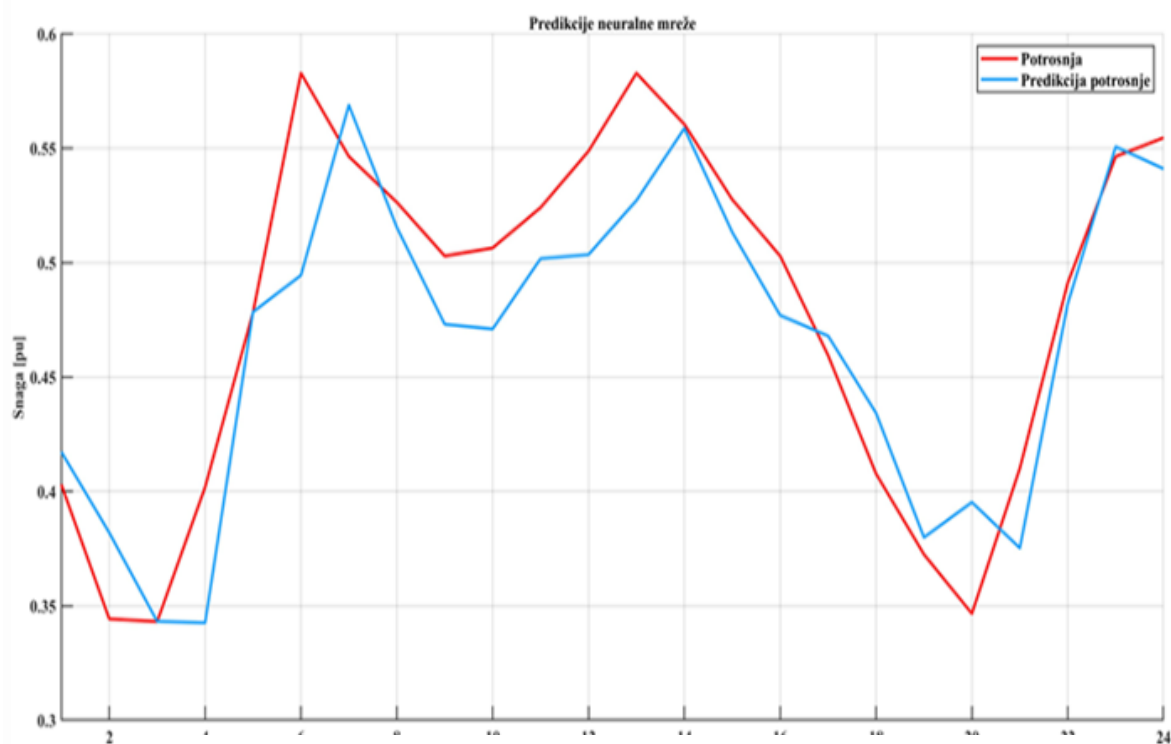
Слика 3.3.1: Блок дијаграм модела

На основу слике 3.3.1 може се закључити да је било неопходно формирати базу података са метеоролошким параметрима и подацима о производњи ветроелектране, соларне електране и просечног потрошњом електричне енергије. Изглед базе података која садржи: сате, температуру, укупну облачност, релативну влажност ваздуха, брзину ветра на висини од 20 метара приказан је у табели 3.3.1. Метеоролошки подаци су преузети од RHMS као просечне вредности за територију Србије, а потрошња и производња из ветроелектране су узете као карактеристичне за предео Балкана. Тако дефинисане снаге производње и потрошње су скалиране називним снагама електрана и максималном

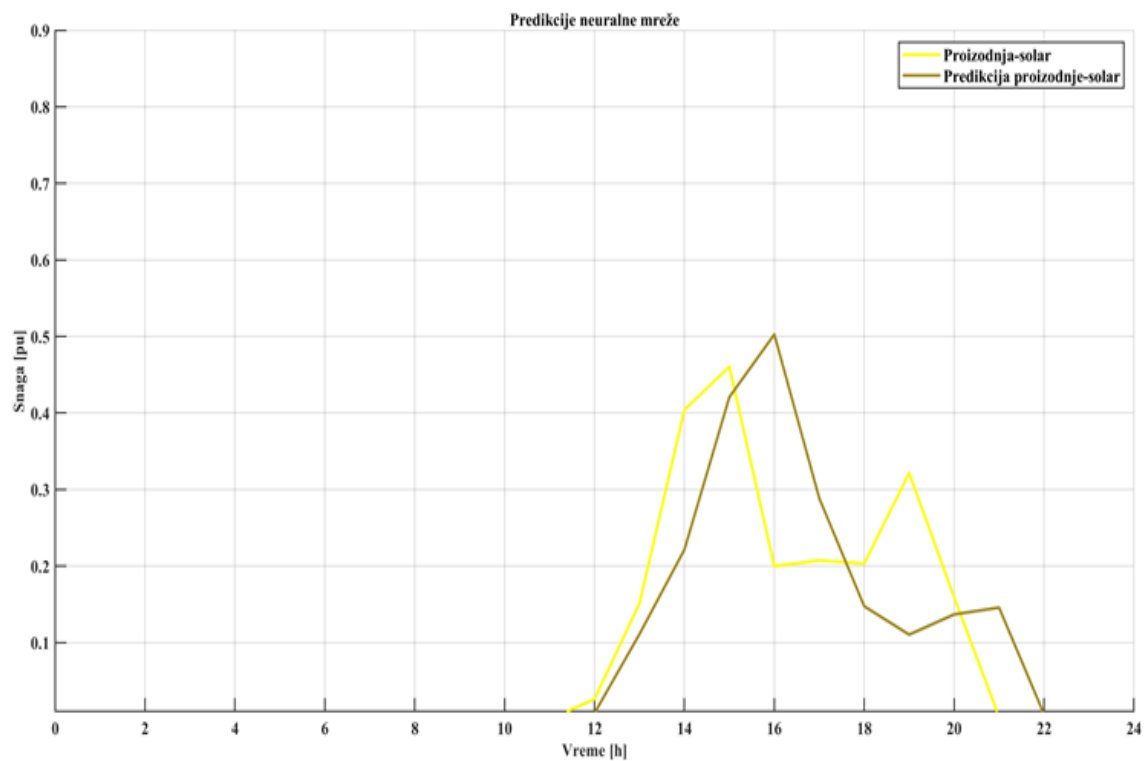
снагом потрошње, респективно, у циљу креирања нормализованих дијаграма који су неопходни као излаз при обучавању АНН. На основу овакве базе извршено је обучавање АНН. Модел неуралне мреже има 5 слојева и у њима следећи број неурона: [72, 36, 25, 10, 10]. АНН је обучавана и оптимизована све док процентуална грешка за моделе на тестирајућем скупу базе података (30 % укупне базе) не буде мања од 5%. Модел неуралне мреже се позива 24 пута када корисник у апликацију унесе 24-сатне вредности улазних параметара.

Табела 3.3.1- Изглед базе података са метеоролошким параметрима за обучавање АНН

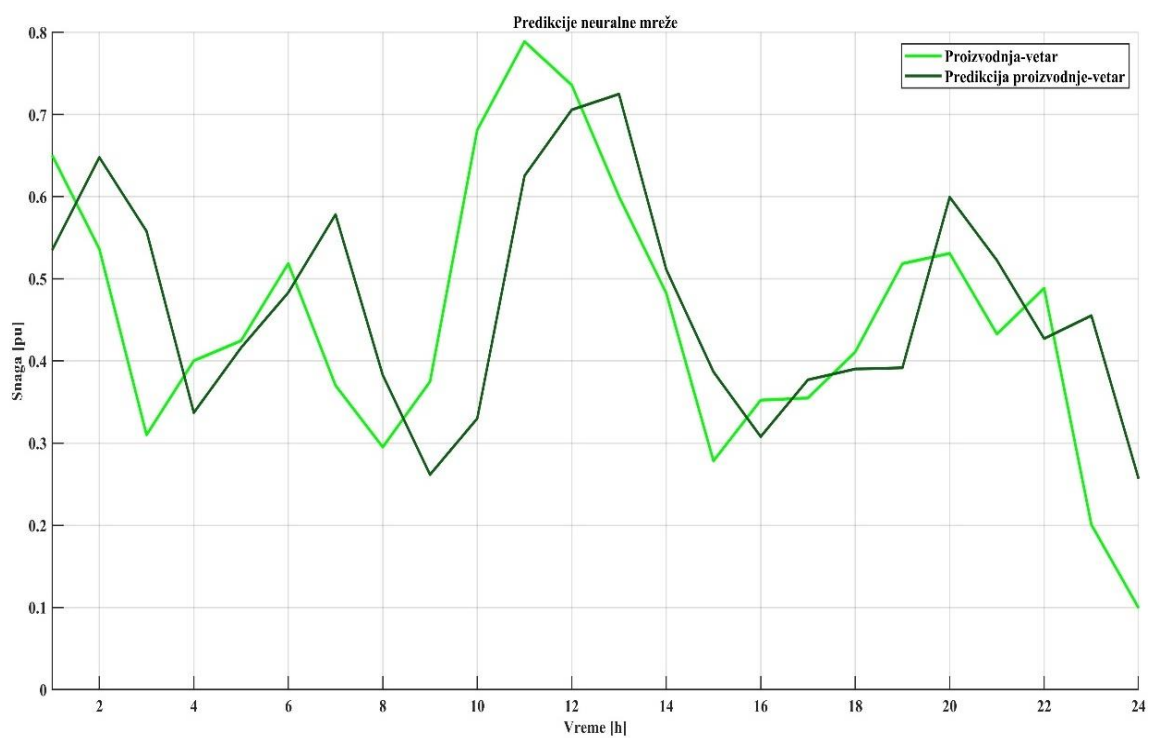
Сат	Температура [°C]	Ирадијација [W/m ²]	Облачност [%]	Релативна влажност [%]	Брзина ветра [m/s]	Потрошња [r.j.]	Производња соларне еле. [r.j.]	Производња ветроелектране [r.j.]
0:00	-1.445	0	0.27	56.619	3.2	0.384	0	0.031
1:00	-2.228	0	0.076	56.643	3.172	0.370	0	0.041
2:00	-2.975	0	0	57.826	3.574	0.350	0	0.033
3:00	-3.479	0	0.034	58.473	3.48		0	0.066
4:00	-3.84	0	0.069	68.237	3.708	0.317	0	0.056
5:00	-3.884	0	0.098	75.331	4.629	0.309	0	0.082
6:00	-4.112	10.726	0.174	85.95	4.874	0.3842	0	0.089



Слика 3.3.2: Дијаграм производње и предикције производње



Слика 3.3.3: Дијаграм потрошње и предикције потрошње

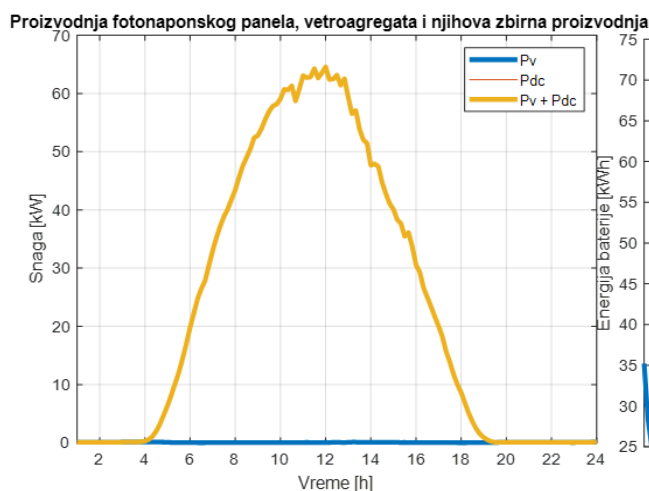


Слика 3.3.4: Дијаграм производње и предикције производње ветроелектране

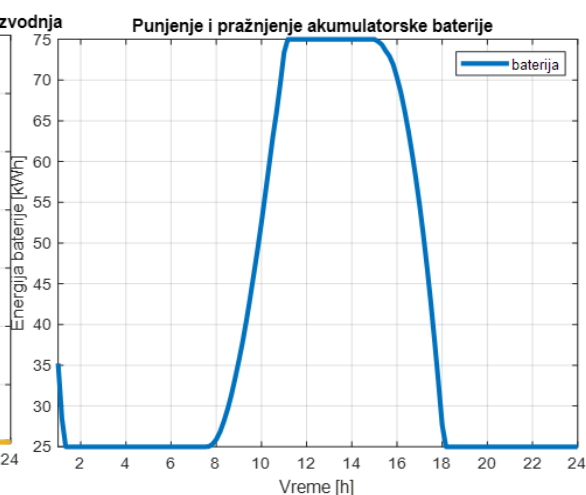
4 РЕЗУЛТАТИ ПРОРАЧУНА

У овом поглављу приказани су резултати симулација хибридног система напајања електричном енергијом, добијени помоћу развијене MATLAB GUI апликације. Поред анализе рада система под различитим тренутним условима, представљени су резултати предикције потрошње електричне енергије, као и производње енергије из соларне и ветроелектране. Симулације су спроведене за различите сценарије који обухватају промене у инсолацији, брзини ветра и потрошњи, као и различите капацитете батерија. Симулације су вршене за летњи и зимски месец. У делу 4.1. приказани су резултати за просечан дан за месец јул. Батерија се пуни када је производња обновљивих извора већа од тренутне потрошње, што се дешава током дана у периодима највеће ирадијације. У вечерњим и ноћним сатима, када је производња обновљивих извора ниска или је нема, батерија се празни како би се покрила потрошња. Вишак произведене енергије (Слика 4.1.3) постоји у периодима када је производња из обновљивих извора знатно већа од тренутне потрошње. Просечан зимски дан у месецу фебруару приказан је на графицима у делу 4.2. Нема вишка енергије у хибридном систему, а батерија се све време празни и достиже минимум у 17 часова, након чега је неопходно да се активира рад дизел агрегата.

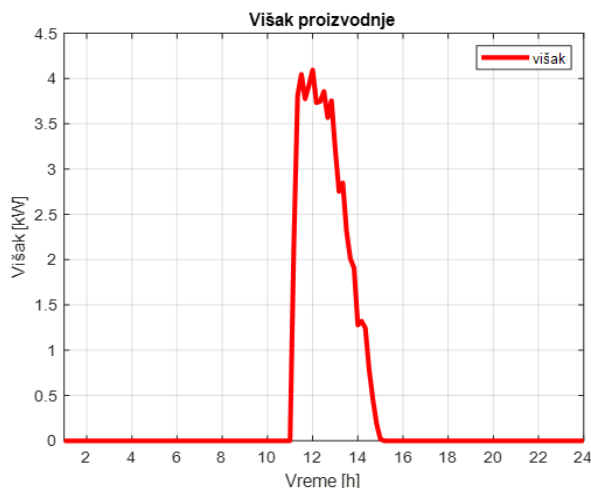
4.1 Летњи месец-јул



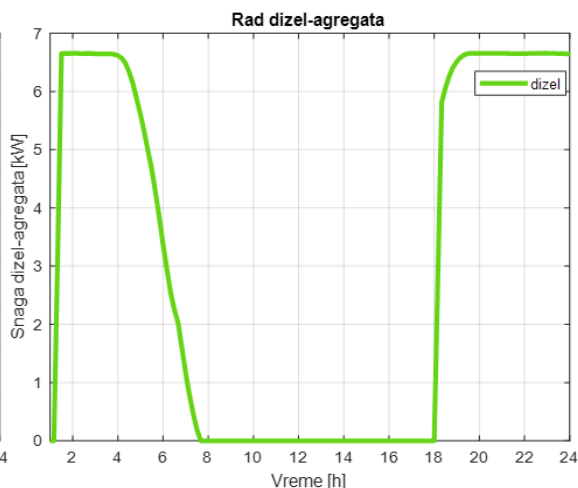
Слика 4.1.1: Појединачна и збирна производња



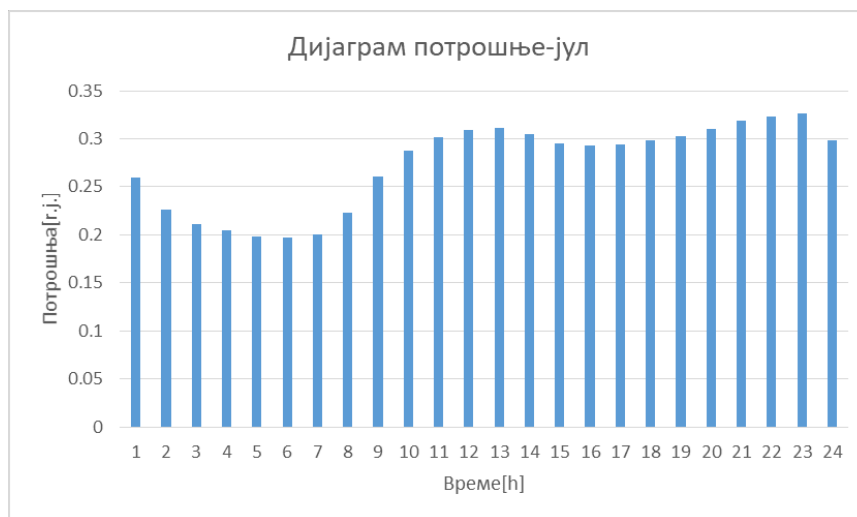
Слика 4.1.2: Рад акумулаторске батерије



Слика 4.1.3: Вишак производње



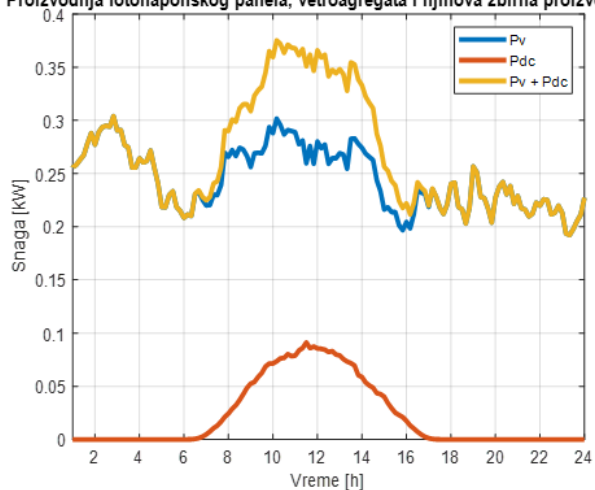
Слика 4.1.4: Рад дизел агрегата



Слика 4.1.5: Дијаграм потрошње-јул

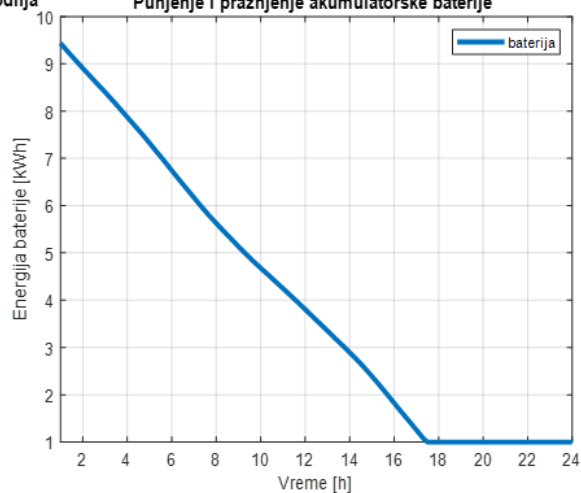
4.2. Зимски месец-фебруар

Производња фотонапонског панела, ветроагрегата и њихова збирна производња



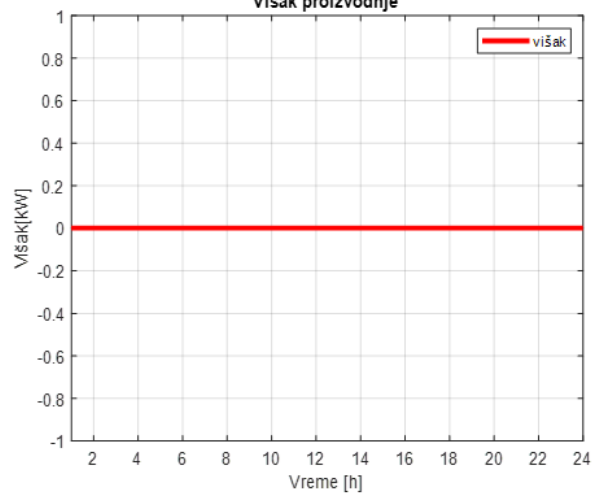
Слика 4.2.1 – Појединачна и збирна производња

Пунjenje и прањjenje акумулаторске батерије



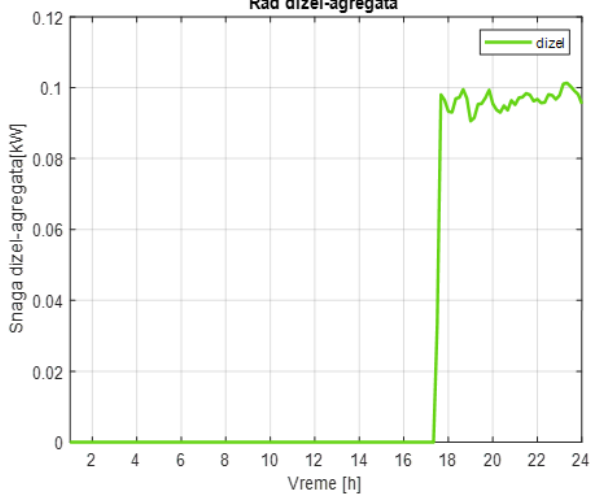
Слика 4.2.2 – Рад акумулаторске батерија

Вишак производње

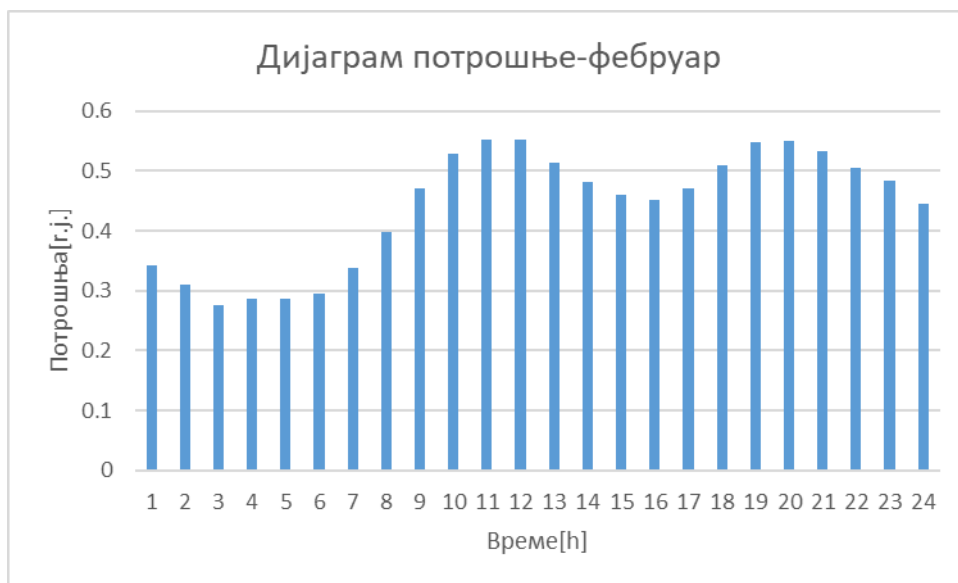


Слика 4.2.3 – Вишак производње

Рад дизел-агрегата

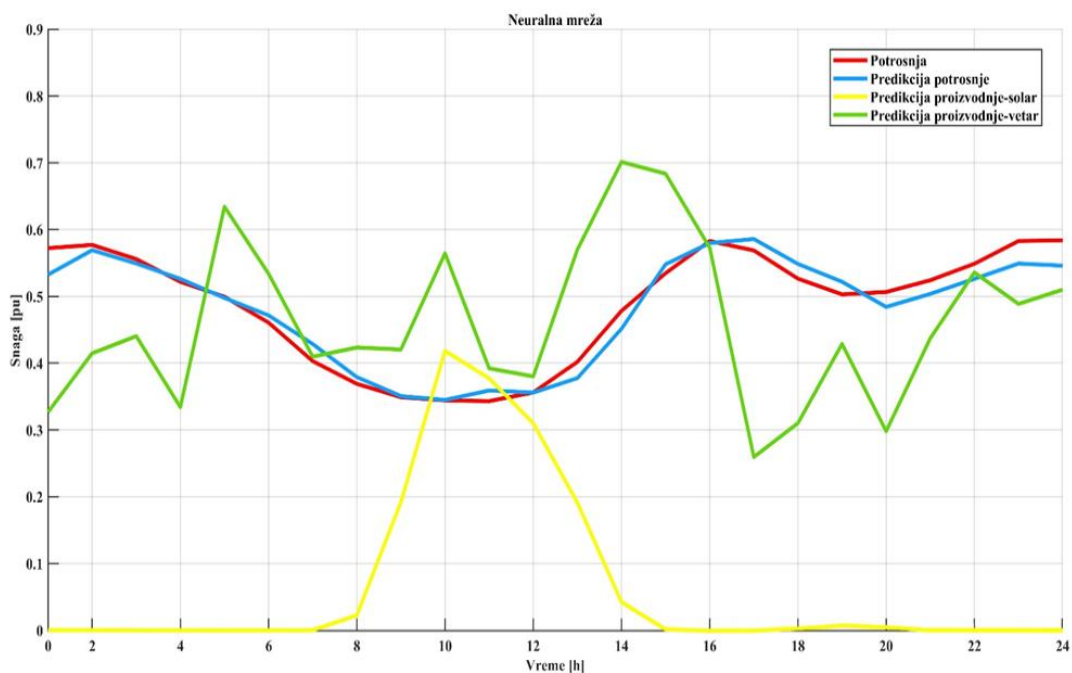


Слика 4.2.4 – Рад дизел агрегата



Слика 4.2.5: Дијаграм потрошње-фебруар

4.3. Предикција потрошње и производње соларне и ветроелектране



Слика 4.3.1: Предикција потрошње и производње соларне и ветроелектране

График (Слика 4.3.1) приказује податке добијене неуралном мрежом која је коришћена за предвиђање потрошње, производње соларне и ветроелектране током 24 сата. Предвиђена потрошња електричне енергије (плава линија) углавном прати тренд стварне потрошње (црвена линија), са уочљивим дневним циклусом повећане потражње у јутарњим и вечерњим сатима. Прогноза производње соларне енергије (жута линија) показује концентрисан пик око поднева, што је карактеристично за соларне системе. Са друге стране, предвиђање производње енергије ветроелектране (зелена линија) одликује знатно већа варијабилност, што је у складу са променљивом природом ветра. Овакве предикције представљају вредан улазни податак за ефикасно управљање хибридным

системом, омогућавајући планирање производње, складиштења и коришћења енергије у складу са очекиваним потребама и расположивим ресурсима. У корисничком интерфејсу је омогућено уношење 24-сатних података о брзини ветра, инослацији и температури, након чега се покреће модел АНН који предвиђа потрошњу и производњу електричне енергије. На основу таквог предиктивног преклапања дијаграма корисник добија увид у сатно складиштење електричне енергије и ангажовање дизел агрегата. На основу овакве анализе корисник апликације може да процени старење, број пуњења и пражњења складишта електричне енергије, као и број покретања дизел агрегата. На основу тога може и да прорачуна цену kWh енергије у свом хибридном систему и процени његову исплативост.

5 ЗАКЉУЧАК

У овом раду је развијена MATLAB GUI апликација која служи за симулацију понашања хибридног система напајања електричном енергијом, интегришући фотонапонске модуле, ветрогенератор, систем за складиштење енергије у видз батерија, као и дизел-агрегат као резервни извор енергије. Резултати спроведених симулација су пружили увид у међусобни утицај компоненти хибридног система.

Главни допринос овог рада огледа се у развоју практичног и едукативног алата који на једноставан начин омогућава моделовање и симулацију сложених хибридних енергетских система. Интеграцијом графичког корисничког интерфејса и АНН, апликација чини ову врсту анализе доступну широј публици, укључујући студенте, инжењере и истраживаче из области обновљивих извора енергије и одрживих енергетских система. Треба напоменути да развијена апликација има одређена ограничења, првенствено у погледу коришћења поједностављених модела за неке од компоненти и неузимања у обзир свих реалних фактора који могу утицати на рад система. У том смислу, будући рад би требало да буде усмерен на имплементацију напреднијих модела, укључивање економске анализе и могућности оптимизације параметара система.

Овај рад доприноси бољем разумевању функционисања хибридних система и пружа основу за даље истраживање и развој у области интеграције обновљивих извора енергије у циљу постизања одрживијих и поузданијих енергетских решења.

6 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Prema V., K. Uma Rao, Predictive Models For Power Management Of A Hybrid Microgrid – A Review, 2014.
- [2] G. Bruni, S. Cordiner, V. Mulone, V. Rocco, F. Spagnolo, A study on the energy management in domestic micro-grids based on Model Predictive Control strategies, 2015..
- [3] Mohamed Abdelaziz Mohamed, Ali Mohamed Eltamaly, *Modeling and Simulation of Smart Grid Integrated with Hybrid Renewable Energy Systems*, Springer International Publishing AG 2018
- [4] Ђуришић, Жељко, Вјетроелектране, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, Београд, 2019.