

KONCEPT IDEJNOG PROJEKTA MIKROMREŽE SA DISTRIBUIRANIM IZVORIMA ENERGIJE NA FAKULTETU TEHNIČKIH NAUKA NOVI SAD

N. S. SAVIĆ¹, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
V.A. KATIĆ², Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
B. DUMNIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
D. MILIĆEVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
Z. ČORBA, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Prateći moderne trendove intenzivnih istraživanja, razvoja, primene i promocije čistih energetske tehnologije, obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu se veoma ozbiljno posvetio ovim veoma perspektivnim naučno-tehničkim oblastima. S tim u vezi, osmišljen je i napravljen koncept idejnog projekta mikromreže na fakultetu koja je zasnovana na primeni različitih vrsta distribuiranih izvora energije. U radu su prikazane tehničke karakteristike osnovnih delova koncepta idejnog projekta mikromreže, konkretno fotonaponskih elektrana, vetrogeneratora, kogeneracionog postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije, električnih vozila, i baterijskog sistema za skladištenje električne energije. U cilju bolje ilustracije i provere mogućnosti realizacije predloženog koncepta idejnog projekta, u radu je takođe data tehno-ekonomska i ekološka analiza aspekata primene mikromreže sa distribuiranim izvorima energije.

Ključne reči: mikromreža, distribuirani izvori energije, obnovljivi izvori energije, energetska efikasnost

ABSTRACT

Following the modern trends of intensive research, development, application and promotion of clean energy technologies, renewable energy sources and energy efficiency, the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad has dedicated itself very seriously to these very promising scientific and technical areas. From these reasons, the concept of the idea project of the microgrid at the faculty was designed and developed, and is based on the application of different types of distributed energy sources. The paper presents the technical characteristics of the main parts of the concept of the idea project of the microgrid (photovoltaic power plants, wind generators, cogeneration plants for combined heat and power production, electric vehicles, and a battery storage system). In order to better illustrate and verify the possibilities of realization of the proposed concept of the idea project, the paper also provides a techno-economic aspects of the application of the microgrid with distributed energy resources.

Key words: microgrid, distributed energy resources, renewable energy sources, energy efficiency

UVOD

Poslednjih nekoliko decenija, pogotovo tokom poslednje tri decenije, čovečanstvo se suočava sa ozbiljnim problemima dinamičnog rasta ljudske populacije, prenaseljavanja gradova i tzv. koncepta megagradova, problemima modernog i dinamičnog razvoja svih vrsta privrede i industrije, kao i problemima neracionalne i

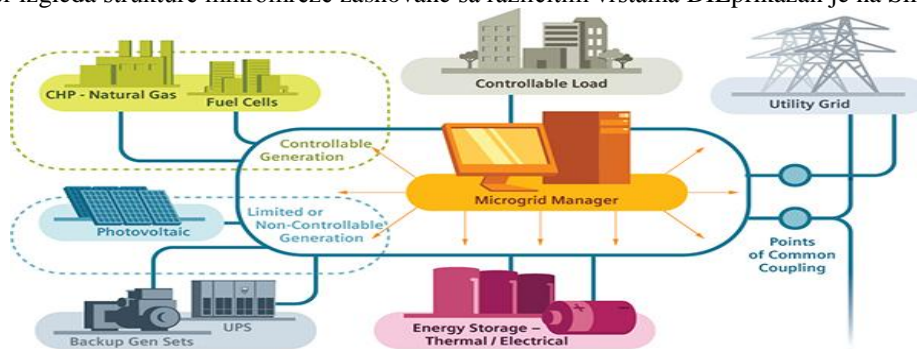
¹Kontakt autor: ms Nemanja Savić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, E-mail: nemanja.savic@uns.ac.rs

²Kontakt autor: prof. dr Vladimir Katić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, E-mail: katav@uns.ac.rs

neekonomične potrošnje konvencionalnih izvora energije (pre svega, fosilnih goriva, konkretno nafte i uglja) čiji su kapaciteti ograničeni. Svi ovi problemi zapravo predstavljaju uzrok novog i takođe veoma ozbiljnog problema dramatične potrošnje različitih vrsta energije, pogotovo potrošnje električne i toplotne energije. Problemi dramatične potrošnje električne i toplotne energije za posledicu imaju ozbiljan problem emisije gasova sa efektom staklene baste koji dalje vode ka dramatičnim problemima globalnog zagrevanja i klimatskih promena na planeti Zemlji. U ovakvim uslovima dolazi do značajnog uticaja na životnu sredinu i život čoveka koji se u njoj nalazi, pa je potrebno pronaći i koristiti posebna tehno-ekonomska i ekološka rešenja i druge mere zaštite u cilju prevazilaženja problema.

Kao posebno efektivno i efikasno rešenje za gore navedene problema pokazala se primena čistih energetskih tehnologija (ČET), integracija i primena obnovljivih izvora energije (OIE) i energetske efikasnosti (EE). Iz tog razloga, poslednjih godina u oblasti distribuiranih izvora energije (DIE) i distribuirane proizvodnje (DP) električne energije beleže se intenzivna istraživanja, razvoj, primena i promocija korišćenja različitih vrsta generatora za proizvodnju električne energije iz OIE, pogotovo u oblasti solarne- i vetroindustrije. S tim u vezi, početkom 21. veka, ustanovljen je, razvijen je i dalje se razvija novi koncept u oblasti OIE i EE poznat pod nazivom mikromreža.

Mikromreža predstavlja mali energetski sistem koji je zasnovan na primeni različitih vrsta DIE (npr. fotonaponski paneli, vetrogeneratori, mikroturbine, gorivne ćelije, električna vozila, i dr.), zajedno sa sistemima i uređajima za skladištenje energije (baterije, superkondenzatori, supermagneti, zamajac, i dr.), interfejsima za povezivanje mikromreže na glavnu distributivnu mrežu (energetska elektronika, pretvarači, mikrokontroleri, transformatori, i dr.) i potrošačima električne energije. U pogledu integracije u elektroenergetski sistem, mikromreža može biti realizovana u niskonaponskoj (najčešće) i sredjenaponskoj (sve češće) distributivnoj mreži. Primer izgleda strukture mikromreže zasnovane sa različitim vrstama DIE prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Primer strukture mikromreže zasnovane na distribuiranim izvorima energije [1].

U cilju maksimalnog razumevanja i opisa koncepta mikromreža, vrsta, režima rada i načina integracije u elektroenergetski sistem (distributivni sistem) i upravljanja, u nastavku rada dat je detaljan opis topologija i klasifikacija različitih vrsta mikromreža. Glavni cilj rada je prikaz koncepta idejnog projekta mikromreže na Fakultetu tehničkih nauka (FTN) u Novom Sadu koja je zasnovana na primeni različitih vrsta DIE, konkretno fotonaponskih (FN) elektrana, vetrogeneratora, kogeneracionog postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije, električnih vozila, kao i baterija za skladištenje električne energije. Poseban fokus rada usmeren je na analizu tehno-ekonomskih i ekoloških aspekata predloženog koncepta idejnog projekta mikromreže zasnovane na primeni različitih vrsta DIE.

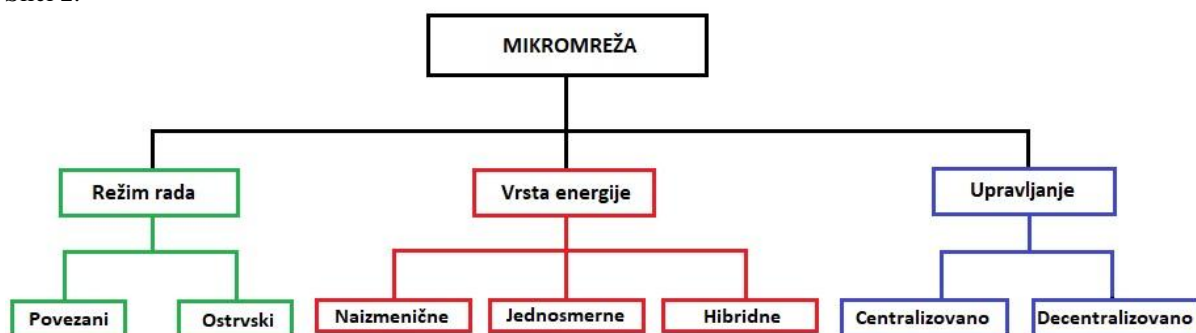
KLASIFIKACIJA MIKROMREŽA SA DIE

Mikromreža predstavlja energetski sistem zasnovan na primeni različitih tipova DIE koji omogućuju i obezbeđuju distribuiranu proizvodnju električne energije. Pri tom, električna energija koja je proizvedena u mikromreži može biti isporučena lokalnim potrošačima koji se nalaze na istom mestu ili u blizini mesta proizvodnje distribuiranih generatora, ili može biti isporučena u glavnu distributivnu mrežu. Pored DIE, sastavni deo mikromreže predstavljaju distribuirani sistemi za skladištenje električne energije, interfejs za povezivanje mikromreže sa glavnom distributivnom mrežom i potrošačima (energetska elektronika, pretvarači, mikrokontroleri, transformatori, i dr.), kao i potrošači električne energije.

Mikromrežese mogu klasifikovati na osnovu sledećih glavnih faktora:

- režim rada,
- vrsta energije (vrsta sistema napajanja), i
- način upravljanja.

Klasifikacija mikromreža prema glavna tri faktora (režim rada, vrsta energije, način upravljanja) prikazana je na Slici 2.



Slika 2. Klasifikacija mikromreža sa DIE.

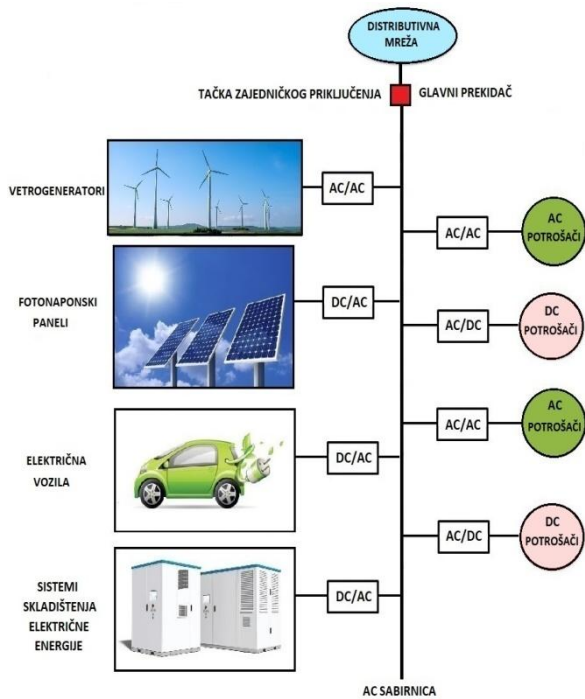
Režim rada mikromreža

Kao što se sa Slike 2 može uočiti, u pogledu režima rada mikromreža može biti u povezanom režimu i ostrvskom režimu rada. U povezanom režimu rada mikromreža je priključena na distributivnu mrežu, pri čemu se električna energija proizvedena iz DIE isporučuje u glavnu mrežu i/ili se uvozi iz distributivne mreže. Glavni zadaci i ciljevi u povezanom režimu rada mikromreže su omogućavanje i obezbeđivanje stabilnosti kompletnog sistema, održavanje (regulacija) napona i frekvencije, i održavanje tokova aktivne i reaktivne snage razmene sa distributivnom mrežom u okviru definisanih tehničkih granica i zahteva. U ostrvskom režimu rada mikromreža je isključena sa distributivne mreže i radi autonomno (nezavisno), pri čemu se sva električna energija proizvedena iz DIE troši samo u okviru mikromreže. Glavni zadaci i ciljevi u ostrvskom režimu rada je stabilnost mikromreže, održavanje napona i frekvencije u okviru definisanih tehničkih granica i zahteva, i napajanje kritičnih (prioritetnih) potrošača. Dodatno, zajednički zadaci i ciljevi u povezanom i ostrvskom režimu rada mikromreže, pored održavanja naponskih prilika i učestanosti, tokova aktivne i reaktivne snage razmene, su ekonomski profit i ekološki profit. Ekonomski profit mikromreža ostvaruje se na osnovu primene proizvodnih jedinica DIE i izbjegavanjem uvoza energije iz distributivne mreže. Ekološki profit mikromreže ostvaruje se na osnovu redukcije emisije gasova sa efektom staklene bašte (Greenhouse Gases Emission) i izbjegavanjem korišćenja konvencionalnih fosilnih goriva.

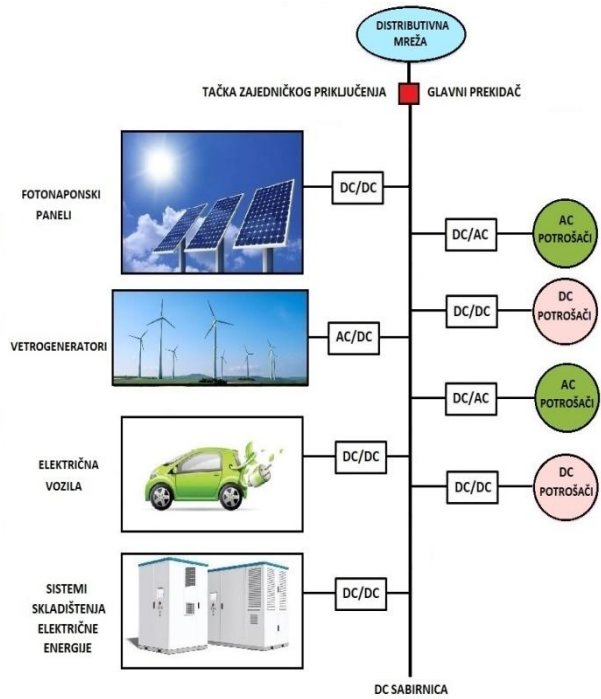
Vrste energije mikromreža

Kao što je na Slici 2 prikazano, u pogledu vrste energije tj. vrste sistema napajanja, mikromreže mogu biti naizmjenične (Alternating Current – AC), jednosmerne (Direct Current – DC) i hibridne (Hybrid AC/DC). Mikromreža naizmjenične struje (AC mikromreža) predstavlja energetski sistem čija je arhitektura zasnovana na primeni različitih vrsta DIE (vetroturbine, kogeneraciona postrojenja, dizel generatori, baterijski sistemi za skladištenje električne energije, i dr.), interfejsa za priključenje i rad DIE i potrošača naizmjenične struje (energetska elektronika, pretvarači, transformatori, i dr.), i koji može stabilno, pouzdano i sigurno raditi sa i/ili bez distributivne mreže. U slučaju da se u okviru AC mikromreže nalaze DIE jednosmerne struje (fotonaponske elektrane, električna vozila, baterijski sistemi za skladištenje električne energije, i dr.), tada je neophodna primena DC/AC energetskih pretvarača (invertora) koji omogućuju i obezbeđuju konverziju ulazne DC struje i prilagođavanje vrsti AC struje koju koriste potrošači naizmjenične struje. Primer izgleda strukture AC mikromreže prikazan je na Slici 3.

Mikromreža jednosmerne struje (DC mikromreža) predstavlja energetski sistem čija je arhitektura zasnovana na primeni različitih vrsta DIE (fotonaponske elektrane, baterijski sistemi za skladištenje električne energije, električna vozila, gorivne ćelije, i dr.), interfejsa za priključenje i rad DIE i potrošača jednosmerne struje (energetska elektronika, pretvarači, transformatori, dr.), i koji može stabilno, pouzdano i sigurno raditi sa i/ili bez distributivne mreže. U slučaju da se u okviru DC mikromreže nalaze DIE naizmjenične struje (vetrogeneratori, dizel generatori, kogeneraciono postrojenje, i dr.), tada je u DC mikromrežama je neophodna primena AC/DC energetskih pretvarača (ispravljača) koji omogućuju i obezbeđuju konverziju ulazne AC struje i prilagođavanje vrsti DC struje koju koriste potrošači jednosmerne struje. Primer izgleda strukture DC mikromreže prikazan je na Slici 4.

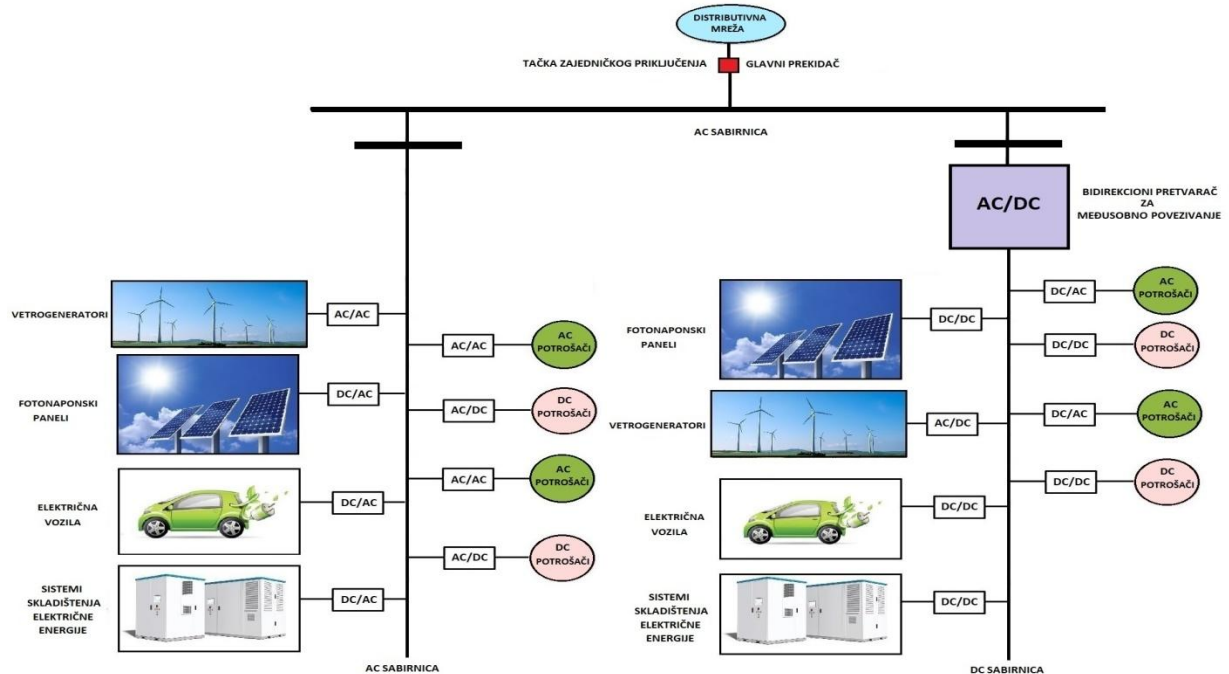


Slika 3. Primer izgleda strukture AC mikromreže.



Slika 4. Primer izgleda strukture DC mikromreže.

Hibridna AC/DC mikromreža predstavlja kombinaciju odvojene AC mikromreže i DC mikromreže koje su međusobno povezane u jednu, hibridnu, mikromrežu. Interkonekcija AC mikromreže i DC mikromreže realizuje se pomoću bidirekcionih AC/DC pretvarača za međusobno povezivanje (Bidirectional Interlink Converter – BIC). U najvećem broju slučajeva, za međusobno povezivanje AC mikromreže i DC mikromreže koristi se Back-to-Back pretvarač (B2B) koji omogućuje i obezbeđuje tokove snaga od AC mikromreže prema DC mikromreži i obrnuto. Primer strukture hibridne AC/DC mikromreže prikazan je na Slici 5.



Slika 5. Primer izgleda strukture hibridne AC/DC mikromreže sa DIE.

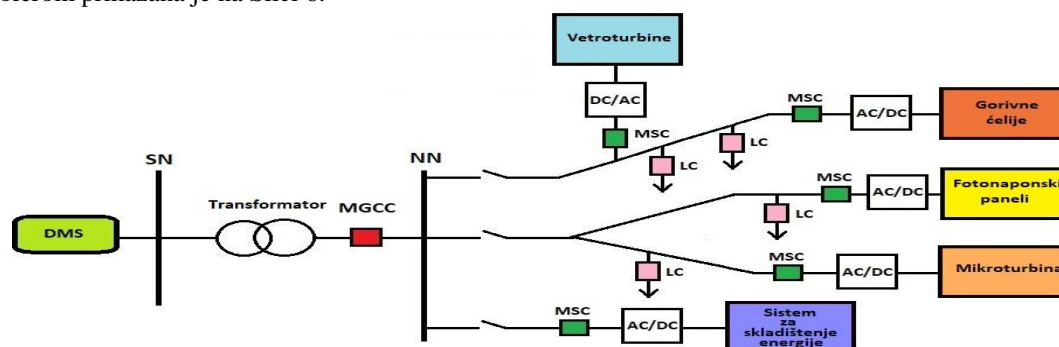
Upravljanje mikromrežom

Kao što se sa Slike 2 može videti, u zavisnosti od topologije i principa upravljanja mikromreže, definiše se centralizovano i decentralizovanoupravljanje.

Centralizovanoupravljanje predstavlja prvi, tradicionalni i najjednostavniji način kontrole mikromreže, gde se upravljanje kompletnim sistemom i proizvodnjom DIE vrši pomoću jedne centralne kontrolne jedinice. Kod

centralizovanog načina upravljanja, glavni uređaj koji se koristi za povezivanje i kontrolu mikromreže u povezanom režimu i ostrvskom režimu rada, i koji je odgovoran za stabilnost i zaštitu kompletnog naziva se centralni kontroler mikromreže (Microgrid Central Controller – MGCC).

MGCC predstavlja energetske elektronske interfejs koji se koristi između distributivne mreže i mikromreže i drugih učesnika u elektroenergetskom sistemu (distributivni sistem operator, operator tržišta električne energije, snabdevači električne energije), čiji su glavni ciljevi fokusirani na maksimizaciju kvaliteta mikromreže (održavanje napona i frekvencije), optimizaciju rada mikromreže, jednostavnu koordinaciju lokalnih kontrolera, minimizaciju operativnih troškova mikromreže, uvažavajući cene na otvorenom tržištu električne energije, potražnju i ponude distribuiranih generatora [2]. Na osnovu cene električne energije na tržištu električne energije i cene goriva na svetskom tržištu, karakteristika proizvodnih jedinica u pogledu emisije gasova sa efektom staklene bašte (Greenhouse Gases emission – GHG emission), tehničkih zahteva za priključenje i rad mreže i potražnje pomoćnih servisa od strane distributivne mreže, MGCC određuje količine snage koje mikromreža treba da uveze iz distributivne mreže, optimizujući distribuiranu (lokalnu) proizvodnju, sisteme za skladištenje električne energije ili kapacitet potrošnje. Arhitektura upravljanja mikromrežom sa MGCC kontrolerom prikazana je na Slici 6.



Slika 6. Arhitektura upravljanja mikromrežom sa različitim DIE [2].

Decentralizovana kontrola predstavlja drugi, noviji i napredniji način kontrole mikromreže, gde se upravljanje svakom proizvodnom jedinicom i proizvodnjom DIE vrši pomoću individualnih kontrolnih jedinica. Ovakav način upravljanja omogućuje i obezbeđuje inteligentno upravljanje i autonoman rad svake proizvodne jedinice DIE u mikromreži, tako da sistem nastavlja sa stabilnim radom u slučaju kvara neke od proizvodnih jedinica DIE u sistemu. Kod decentralizovanog načina upravljanja, glavni uređaj koji se koristi za povezivanje, rad i upravljanje pojedinačnih DIE, i upravljanje mikromrežom u povezanom i ostrvskom režimu rada naziva se kontroler mikroizvora (Micro Source Controller – MSC).

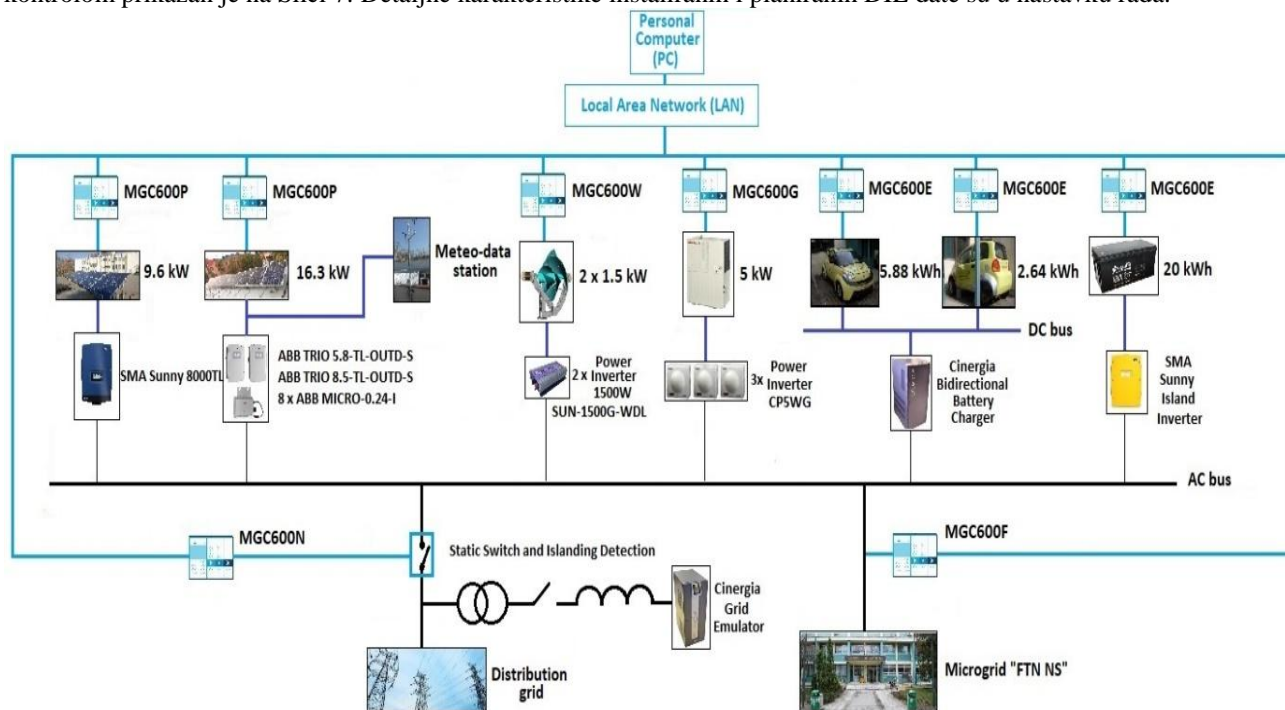
MSC predstavlja energetske elektronske interfejs koji se koristi za kontrolu i nadzor rada različitih vrsta DIE (fotonaponske elektrane, vetrogeneratori, kogeneraciona postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije, gorivne ćelije, i dr.) i/ili sistemima za skladištenje električne energije (baterijski sistem, superkondenzatori, zamajac, i dr.). MSC se koriste za kontrolu napona i frekvencije mikromreže u tranzijentnim uslovima (kvar u mreži, promena opterećenja, i dr.), pri čemu u povezanom režimu rada svi MSC imaju autonomiju u pogledu obavljanja lokalne optimizacije aktivne i reaktivne proizvodnje energije iz DIE (na osnovu postavljenih i poslanih zahteva od MGCC), dok u ostrvskom režimu rada imaju autonomiju u pogledu brzog praćenja opterećenja nakon prelaska iz povezanog režima rada [2]. Arhitektura upravljanja mikromrežom sa MGCC i MSC kontrolerima prikazana je na Slici 6.

FTN MIKROMREŽASA DIE

Prateći savremene trendove u oblasti OIE i čistih energetske tehnologije, na FTN je napravljen idejni projekat mikromreže zasnovane na različitim vrstama obnovljivih distribuiranih izvora energije. U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže na FTN planirani su sledeće tehnologije distribuiranih generatora i distribuiranih sistema za skladištenje električne energije:

- fotonaponske elektrane instalisane snage 9,6 kW i 16,3 kW,
- mali vetrogenerator instalisane snage $2 \times 1,5$ kW,
- mikro kogeneraciono postrojenje instalisane snage 5 kWe + 9,9 kWt,
- dva električna vozila snage 5,88 kWh i 2,64 kWh sa dvostranim sporim punjačem,
- baterijski sistem za skladištenje električne energije nominalne snage 20 kWh,
- grid emulator, i
- električni potrošači.

U pogledu načina upravljanja mikromrežom na FTN koja je zasnovana na gore navedenim DIE planira korišćenje kontrolera mikromreže. U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže "FTN", za kontrolu mikromreže je izabran mikrokontroler proizvođača koji se sastoji od nekoliko firmvera/kontrolera za povezivanje, kontrolu i nadgledanje FN elektrane, vetrogeneratora, hidrogenatora, sistema za skladištenje električne energije, dizel/gas generatora, distributer fidera, jednostrukih/višestrukih opterećenja, kao i mrežne veze mikromreže [3]. Izgled koncepta idejnog projekta mikromreže FTN sa različitim tipovima DIE i njihovom kontrolom prikazan je na Slici 7. Detaljne karakteristike instaliranih i planiranih DIE date su u nastavku rada.



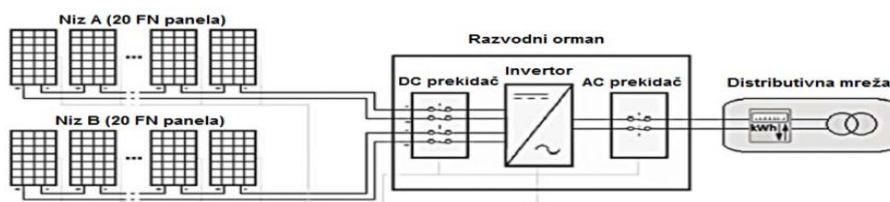
Slika 6. Arhitektura mikromreže FTN sa različitim vrstama DIE.

Fotonaponska elektrana "FTN 1"

U okviru planiranog koncepta idejnog projekta mikromreže sa DIE na FTN nalazi se FN elektrana "FTN 1" nominalne snage 9,6 kWp, koja je instalirana na ravnom krovu iznad amfiteataru FTN. FN elektrana "FTN 1" sastoji se od sledećih glavnih delova:

- 40 FN panela,
- 1 FN string invertor (DC/AC pretvarač),
- prekidački i zaštitni uređaji/oprema DC i AC struje,
- bidirekcionobrojilo za merenje električne energije, i
- komunikacioni uređaji i merna oprema.

U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže FTN koja je zasnovana na primeni različitih vrsta DIE, za FN elektranu "FTN 1" izabrana je sledeća oprema: polikristalni FN paneli maksimalne snage 240 Wp i efikasnosti modula 14,66 %; FN invertor proizvođača maksimalne DC ulazne snage 8,2 kW, nominalne AC izlazne snage 8 kW, ulaznog nazivnog napona 600 V, naponskog opsega praćenja tačke maksimalne snage (Maximum Power Point Tracking – MPPT) od 320 V do 800 V; komunikacioni uređaj sa Bluetooth vezom (komunikacija sa invertorom: Bluetooth, komunikacija sa računarnom: 10/100 Mbit Ethernet, maksimalna udaljenost komunikacije: Bluetooth na otvorenom do 100 m); merni uređaj (maksimalna udaljenost komunikacije: 1200 m) [4, 5, 6, 7]. FN paneli u FN elektrani "FTN 1" formirani su u dva niza (stringa), pri čemu se svaki niz sastoji od 20 redno povezanih FN panela i dalje su priključeni na FN invertor koji ima dva nezavisna MPPT ulaza. Komunikacioni i merni uređaji u FN "FTN 1" omogućuju udaljeni pristup FN elektrani preko interneta, kontrolu i snimanje podataka o glavnim parametrima FN elektrane u realnom vremenu kao što su proizvodnja električne energije, izbegnuta emisija gasova sa efektom staklene bašte, intenzitet solarnog zračenja, temperatura vazduha, temperatura FN panela, brzina vetra, i dr. Blok dijagram FN elektrane "FTN1" prikazan je na Slici 7. Kao dokaz da FTN kvalitetno prati moderne trendove razvoja ČET, OIE i EE, u prilog ide i činjenica da je FN elektrana "FTN 1" prvi povlašćeni proizvođač električne energije konvertovane iz solarne energije u Republici Srbiji.



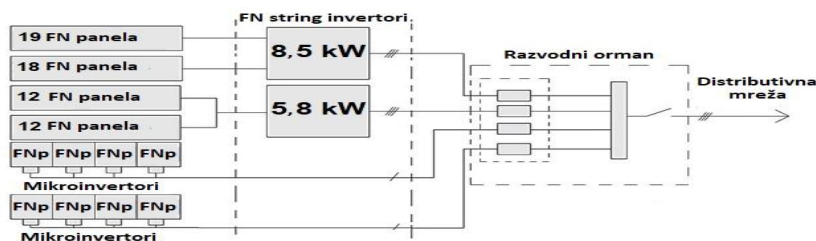
Slika 7. FN elektrana “FTN 1” – blok dijagram.

Fotonaponska elektrana “FTN 2”

U okviru planiranog koncepta idejnog projekta mikromreže sa DIE na FTN nalazi se FN elektrana "FTN 2" nominalne snage 16,3 kW, koja je instalirana na na ravnom krovu Mašinskog Instituta (MI) FTN. FN elektrana “FTN 2” sastoji se od sledećih glavnih delova:

- 69 FN panela,
- 2 FN string invertora i 8 mikroinvertora,
- prekidački i zaštitni uređaji/oprema DC i AC struje,
- bidirekciono brojilo za merenje električne energije, i
- komunikacioni uređaji i merna oprema.

U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže na FTN koja je zasnovana na primeni različitih vrsta DIE, za FN elektranu “FTN 2” izabrana je sledeća oprema: monokristalni FN paneli maksimalne snage 270 Wp i efikasnosti modula 16,5%, polikristalni FN paneli maksimalne snage 255 Wp i efikasnosti modula od 15,3%, polikristalni FN paneli maksimalne snage 240 Wp i efikasnosti modula 14,66 %, i FN paneli sa tankim filmom maksimalne snage 80 Wp i efikasnosti modula 11%; FN inverter maksimalne DC ulazne snage 5,95 kW, nominalne AC izlazne snage 5,8 kW, ulaznog nazivnog napona 620 V, MPPT naponskog opsega od 320 V do 800 V, FN inverter maksimalne DC ulazne snage 8,7 kW, nominalne AC izlazne snage 8,5 kW, ulaznog nominalnog napona 620 V, MPPT naponskog opsega od 320 V do 800 V, PV mikroinvertori maksimalne DC ulazne snage 265 W, nominalne AC izlazne snage 250 W, MPPT naponskog opsega od 25 V do 60 V [4], [8-12]. FN paneli u FN elektrani “FTN 2” formirani su u četiri stringa, pri čemu se prvi string sastoji od 19 FN panela, drugi string od 18 FN panela, treći string 12 FN panela, i četvrti string 12 FN panela. Prvi i drugi string priključeni su na FN inverter snage 8,5 kW koji ima dva nezavisna ulaza MPPT, dok su treći i četvrti string povezani paralelno na FN inverter snage 5,8 kW koji ima jedan nezavisan ulaz MPPT. Konačno, 8 PV panela povezani su na 8 mikroinvertora koji obezbeđuju mogućnost MPPT za svaki individualni modul. Blok dijagram FN elektrane "FTN 2" prikazan je na Slici 8.



Slika 8. FN elektrana “FTN 2” – blok dijagram.

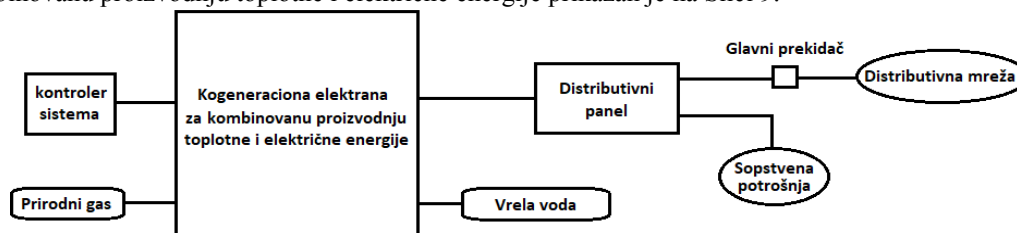
Vetrogeneratori

U okviru planiranog koncepta idejnog projekta mikromreže sa DIE na FTN nalaze se dva vetrogeneratora nominalne snage po 2 kW, čije su instalacije planirane na ravnom krovu zgrade “Kula” i ravnom krovu MI na FTN. U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže na FTN koja je zasnovana na primeni različitih vrsta DIE planira se realizacija dva vetrogeneratora identičnih tehničkih karakteristika: nominalna izlazna snaga 2 kW, maksimalna izlazna snaga 2,95 kW, početna brzina vetra (Cut-In speed) 2,5 m/s, radna brzina vetra od 3 m/s do 25 m/s, nominalna brzina vetra 8 m/s, maksimalna brzina rotacije 400 r/min, prosečna godišnja proizvodnja električne energije pri srednjoj brzini vetra od 5 m/s iznosi 4672 kWh[13].

Kogeneraciona elektrana

Kogeneraciona elektrana za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije nominalne snage 9,9 kWt + 5 kWe planirana je za instalaciju na MI FTN. U okviru koncepta idejnog projekta mikromreže na FTN koja je zasnovana na primeni različitih vrsta DIE planira se realizacija kogeneracione elektrane sledećih tehničkih karakteristika: nominalna izlazna snaga 5 kWe, fazna struja 7,2 A, faktor snage > 0,99, povrat toplote 9,9 kWt,

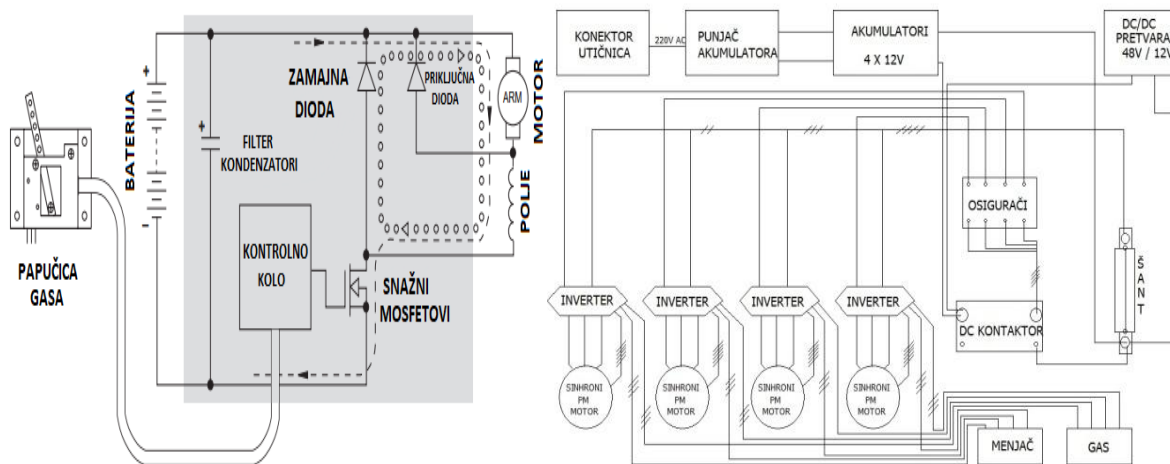
ulazna/izlazna temperatura tople vode 80°C/60°C, ukupna efikasnost 85 %, efikasnost proizvodnje električne energije 28,5 %, efikasnost rekuperacije toplotne energije 56,5 % [14]. Blok dijagram kogeneracione elektrane za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije prikazan je na Slici 9.



Slika 9. Kogeneraciona elektrana "FTN" – blok dijagram [14].

Električna vozila

U okviru planiranog koncepta idejnog projekta mikromreže sa DIE na FTN nalaze se i dva električna vozila. Prvi električni automobil ima snagu motora od 4 kW (nominalni napon 48V, nominalna struja 104 A) i druge tehničke karakteristike sistema koje omogućavaju i obezbeđuju vožnju na kratkim relacijama do oko 60 kilometara. Napajanje prvog električnog automobila vrši se DC naponom 48V dobijenim rednim povezivanjem 5 baterija kapaciteta 145 Ah i napona 12 V i 100 Ah i napona 8 V, dok pogon predstavlja DC motor sa rednom pobudom nominalne brzine 2800 obrtaja u minutu [15]. Blok dijagram pogona DC motora prvog električnog automobila prikazana je na Slici 10. Drugi električni automobil ima snagu motora od 2,5 kW i tehničke karakteristike koje omogućavaju i obezbeđuju vožnju na kratkim relacijama do oko 60 kilometara. Napajanje drugog električnog automobila vrši se DC naponom 48 V dobijenim rednim povezivanjem 4 baterije kapaciteta 55 Ah i napona 8 V, dok pogon predstavljaju 4 motora sa permanentnim magnetima, po jedan montiran u svaki točak, tako da drugi električni automobil zapravo predstavlja električno vozilo sa pogonom na sva četiri točka [15]. Blok dijagram pogona 4 DC motora drugog električnog automobila prikazana je na Slici 11.



Slika 11. Blok dijagram pogona prvog (levo) i drugog električnog automobila (desno) [15].

Baterijski sistem za skladištenje električne energije

U cilju obezbeđivanja rezervnog napajanja potrošača, u okviru koncepta idejnog projekta mikromreže FTN koja je zasnovana na različitim vrstama DIE, planirana je i montaža baterija za skladištenje električne energije. Konkretno, glavni zadatak planiranog baterijskog sistema za skladištenje energije je omogućavanje i obezbeđivanje napajanja kritičnih potrošača u havarijskim uslovima u trajanju od minimum 2 sata. U cilju ispunjenja ovog zahteva, u okviru koncepta idejnog projekta mikromreže sa DIE na FTN predviđa se primena 10 baterija kapaciteta 200 Ah i napona 12V, čije povezivanje obezbeđuje ukupni kapacitet 24 kWh električne energije [16].

TEHNO-EKONOMSKA I EKOLOŠKA ANALIZA MIKROMREŽE SA DIE

Nakon obrade i analize tehničkih aspekata primene mikromreže zasnovane na različitim DIE na FTN, u cilju dobijanja kompletnijih detalja i šire slike, urađena je i tehno-ekonomska i ekološka analiza. S tim u vezi, tehno-ekonomski i ekološki aspekti primene predloženog koncepta mikromreže sa primenom različitih DIE koji se

planiraju na FTN prikazani su u Tabeli 1. Konkretno, u Tabeli 1 prikazani su prosečna godišnja proizvodnja električne energijesvakog planiranog DIE u mikromreži FTN, godišnje izbegnuta emisija gasova sa efektom staklene bašte (ugljen-dioksida, CO₂), troškovi realizacije DIE, kao i prihodi realizacije koji se ostvaruju primenom predloženih DIE. U okviru tehno-ekonomske i ekološke analize podrazumeva se slučaj da se kompletno proizvedena električna energija u mikromreži "FTN" isporučuje distributivnoj električnoj mreži i prodaje po podsticajnim otkupnim cenama tj. Fid-in-tarifama (Feed-In Tariffs) definisanim Uredbom o merama podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoefikasne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije[17].

TABELA 1 – TEHNO-EKONOMSKI I EKOLOŠKI ASPEKTI PRIMENE FTN MIKROMREŽE SA DIE.

Vrsta DIE	Godišnja proizvodnja [kWh]	Godišnja izbegnuta emisija [kgCO ₂]	Troškovi realizacije[€]	Prihodi realizacije[€]
Fotonaponska elektrana "FTN 1"	11178,57	7852,44	18000,00	47552,03
Fotonaponska elektrana "FTN 2"	18980,28	13332,79	28000,00	57538,49
Vetrogeneratori	3458,00	2074,8	5000,00	7635,26
Kogeneraciona elektrana	21900,00	19447,2	30000,00	50282,40
Električni automobili	0 (trenutno)	1941,42	11000,00	0 (trenutno)
Baterije	120,00	132,00	4200,00	0 (trenutno)
Mikrokontroler mikromreže	0	0	15000,00	0
Ukupno:	55636,85	44780,65	111200,00	163008,18

U cilju provere opravdanosti realizacije predloženog rešenja, povrat investicije (Return of Investment – ROI) kao odnos uloženih sredstava i vraćenih sredstava se može izračunati na osnovu sledeće formule:

$$ROI = \frac{\text{ukupni prihodi} - \text{ukupni troškovi}}{\text{ukupni troškovi}} \times 100\%$$

Za konkretan primer koncepta idejnog projekta mikromreže "FTN" sa DIE, na osnovu podataka iz Tabele 1, povrat investicije je:

$$ROI = \frac{163008,18 - 111200,00}{111200,00} \times 100\% = 46,59\%$$

Na osnovu izračunatog faktora povrata investicije (ROI), može se zaključiti da se na kraju životnog veka mikromreže "FTN" sa različitim vrstama DIE u najgorem slučaju može ostvariti dobit u iznosu od skoro 50%. Uvođenjem taksu za proizvođače električne energije koji emituju gasove sa efektom staklene bašte (CO₂) (Carbon-Tax) koje su u najvećem broju svetskih i evropskih zemalja stupile na snagu, ukupan prihod mikromreže "FTN" sa različitim vrstama DIE može biti dodatno i značajno povećan [€/tCO₂].

ZAKLJUČAK

Prateći moderne trendove razvoja čistih energetske tehnologije, obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu osmišljen je i napravljen koncept idejnog projekta mikromreže koja je zasnovana na primeni različitih vrsta distribuiranih izvora energije. Konkretno, planirani koncept idejnog projekta mikromreže sastoji se od 2 fotonaponske elektrane nominalnih snaga 9,6 kW i 16,3 kW, 2 vetrogeneratora nominalnih snaga svaki 2 kW, kogeneracione elektrane za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije snage 9,9 kWt i 5 kWe, dva električna vozila snage 4 kW i 2,5 kW, kao i meteorološke stanice koja obezbeđuje ključne podatke na mikrolokaciji fakulteta (temperatura vazduha, vazdušni pritisak, brzina i pravac vetra, i dr). Na osnovu tehno-ekonomske analize zaključeno je da postoje veoma značajni potencijali obnovljivih izvora energije koje bi trebalo iskoristiti na moderan i veoma efikasan način realizacijom mikromreže sa distribuiranim izvorima energije.

LITERATURA

1. <https://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/microgrid/pages/microgrids.aspx>
2. A. G. Tsikalakis, N. D. Hatziaargyriou, "Centralized Control for Optimizing Microgrids Operation," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 23, No. 1, pp. 241-248, March 2008.
3. [https://new.abb.com/docs/default-source/ewea-doc/microgrid-controller-600_en_lr\(dic2013\).pdf](https://new.abb.com/docs/default-source/ewea-doc/microgrid-controller-600_en_lr(dic2013).pdf)
4. https://jinkosolar.com/ftp/US-MKT-250P_v1.0_rev2013.pdf
5. <http://files.sma.de/dl/8552/STP8-17TL-IA-en-31.pdf>
6. <http://files.sma.de/dl/11567/WEBBOXBT-DEN113213W.pdf>
7. <http://files.sma.de/dl/4148/SENSORBOX-DEN103131W.pdf>
8. http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/2012_PANDA_60.pdf
9. http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/YGE_60_Cell_Series_EN.pdf
10. <http://www.vindogsol.dk/GeneCIS%20modul%2080%20Wp%20datablad.pdf>
11. https://library.e.abb.com/public/a201fd491f1a14ee85257dab0035c818/TRIO-5.8_7.5_8.5-TL-OUTD-Product%20manual%20EN-RevD.pdf
12. <https://library.e.abb.com/public/3b4b2359a4986e2685257dff005e1834/MICRO-0.25-0.3-0.3HV-Rev0.1.pdf>
13. <http://www.windpowercn.com/products/21.html>
14. http://www.yanmarenergysystems.eu/theme/yanmarportal/uploadedFiles/Energy/productDownloads/Micro%20Cogeneration/CP_ENGLISH.pdf
15. V. A. Katić, Z. Čorba, B. Dumnić, D. Milićević, B. Popadić, "Mali električni automobili - ispitivanje osnovnih pogonskih karakteristika", Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost - ENEF 2013, Banja Luka, 22. – 23. novembar 2013. godine.
16. http://www.atlantissolar.com/agm_12200ah.html
17. Vlada Republike Srbije, Ministarstvo rudarstva i energetike Republike Srbije, Uredba o merama podsticaja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoeфикаsne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije, Beograd, Republika Srbija, 2016.