

PAMETNA BROJILA I NAPREDNI MERNI SISTEMI (AMI) KAO TEMELJ ZA RAZVOJ PAMETNIH MREŽA (SMART GRID)**SMART METERS AND ADVANCED MEASUREMENT SYSTEMS (AMI) AS A FOUNDATION FOR THE DEVELOPMENT OF SMART GRIDS**

Stefan Popović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast - Primenjeno softversko inženjerstvo

Kratak sadržaj - Rad obrađuje značaj pametnih brojila i naprednih mernih sistema (AMI) kao osnove za razvoj pametnih mreža (Smart Grid). Prikazane su njihove ključne funkcije, uloga u digitalizaciji elektroenergetskog sistema i primeri iz prakse.

Ključne reči: SmartGrid, Pametno brojilo, AMI, DLMS, COSEM

Abstract - The paper examines the importance of smart meters and Advanced Metering Infrastructure (AMI) as the foundation for the development of Smart Grids. Their key functions, role in the digitalization of the power system, and practical examples are presented.

Keywords: SmartGrid, Smart meter, AMI, DLMS, COSEM

1. TRADICIONALNI ELEKTROENERGETSKI SISTEMI

Tradicionalni elektroenergetski sistemi godinama su se oslanjali na mehanička i elektromehanička brojila koja su evidentirala samo zbirnu potrošnju. Očitavanje je vršeno ručno, što je unosilo greške, kašnjenja i rizik od manipulacija. Njihov glavni nedostatak bila je statičnost - nisu pružali podatke o vremenskoj dinamici potrošnje, vršnim opterećenjima niti mogućnost komunikacije sa distributivnim centrom. Zbog toga nisu mogli da podrže detaljnu analizu, napredne tarife ni planiranje u uslovima rasta potrošnje, decentralizovane proizvodnje i razvoja elektromobilnosti, te su postali prepreka daljem razvoju sistema.

2. PRELAZAK NA PAMETNE MREŽE

Kako bi se odgovorilo na nove izazove u energetici, razvijen je koncept pametnih mreža (Smart Grid). Za razliku od tradicionalnih mreža, koje su se zasnivale na jednosmernom toku energije i centralizovanom upravljanju, SmartGrid integriše informaciono-komunikacione tehnologije u sve segmente sistema.

Pametna mreža omogućava dvosmernu komunikaciju, daljinsko upravljanje, automatizaciju i prikupljanje podataka u realnom vremenu.

Posebno značajan je decentralizovani pristup, gde potrošači postaju i proizvođači energije („prosumers“), što povećava fleksibilnost i otpornost mreže.



Slika 1. Tranzicija iz analognih u pametna digitalna brojila

3. PAMETNA BROJILA

Pametna brojila (*smart meters*) predstavljaju savremene elektronske uređaje koji omogućavaju precizno, kontinuirano i daljinsko praćenje potrošnje električne energije. Za razliku od tradicionalnih mehaničkih brojila, koja registruju samo ukupnu potrošnju i zahtevaju fizičko očitavanje, pametna brojila omogućavaju automatsko očitavanje, dvosmernu komunikaciju i detaljnu analizu potrošnje u realnom vremenu. Kao ključna komponenta naprednog mernog sistema (AMI - Advanced Metering Infrastructure), pametna brojila predstavljaju interfejs između krajnjeg korisnika i distributivne mreže, čime se obezbeđuje pouzdana razmena informacija i efikasnije upravljanje sistemom.

3.1. Funkcionalnosti pametnih brojila

Pametna brojila predstavljaju novu generaciju mernih uređaja koja omogućavaju automatsko i daljinsko očitavanje, čime se postiže veća tačnost i smanjuju troškovi. Zahvaljujući dvosmernoj komunikaciji, ona ne samo da prenose podatke o potrošnji, već i primaju komande distributera - od promene tarifa do uključivanja i isključivanja potrošača.

Visoka vremenska rezolucija (na primer, na 15 minuta) omogućava detaljnu analizu potrošnje i bolje planiranje mreže. Brojila detektuju kvarove, prekinde napajanja i pokušaje neovlašćene potrošnje, šaljući upozorenja u realnom vremenu, čime se povećava sigurnost sistema.

Dodatno, podrška za dinamičko tarifiranje i dostupnost podataka korisnicima kroz aplikacije podstiču racionalnije korišćenje energije. Integrisana sa pametnim domovima,

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio Doc. dr Aleksandar Bošković.

solarnim panelima i baterijama, pametna brojila postaju ključni deo AMI (Advanced Metering Infrastructure) i temelj razvoja Smart Grid sistema - efikasnijeg, pouzdanijeg i održivijeg elektroenergetskog okruženja.

3.2. Komunikacione tehnologije u ami sistemima

Rad AMI (Advanced Metering Infrastructure) sistema zasniva se na pouzdanoj dvosmernoj komunikaciji između brojila, koncentratora i centralnog sistema. U praksi se koriste različite tehnologije, u zavisnosti od okruženja i potreba:

- **PLC (Power Line Communication):** koristi postojeće elektroenergetske vodove, jeftino rešenje za gradske sredine, ali ograničeno u dometu i podložno smetnjama.
- **RF mreže:** bežična komunikacija u *mesh* (mrežna struktura u kojoj je svaki čvor povezan sa jednim ili više drugih čvorova i podaci mogu da putuju različitim rutama bez centralnog rutera) topologiji, fleksibilna i pogodna za urbana područja, ali osetljiva na interferencije.
- **Mobilne mreže (GPRS/3G/4G/LTE):** omogućavaju široku pokrivenost i direktnu vezu brojilo-server, idealne za ruralne oblasti, ali skuplje i zavisne od kvaliteta signala.
- **Optička vlakna/Ethernet:** nude veliku brzinu i pouzdanost, ali imaju visoke troškove pa se koriste u industrijskim i kritičnim objektima.
- **NB-IoT i LTE-M:** nove IoT tehnologije, energetski efikasne i pogodne za masovno povezivanje uređaja, ali još uvek neravnomerno dostupne.

U praksi se najčešće primenjuje **hibridni pristup**, koji kombinuje više tehnologija radi veće pouzdanosti i potpunog pokrivanja mreže.

Tehnologija	Cena implementacije	Zastupljenost	Domet i brzina
PLC (Power Line Communi)	Niska	Visoka (u gradovima)	Kratak, srednja brzina
RF (Radio Frequency)	Srednja	Veoma visoka	Kratak-srednji, umerena
Optička vlakna / Ethernet	Visoka	Niska-srednja	Dug, veoma visoka
GPRS / 3G / 4G / LTE	Srednja-visoka	Veoma visoka	Dug, srednja brzina
NB-IoT / LTE-M	Niska-srednja	Rastuća	Duga brzina

Slika 2. Pregled komunikacionih tehnologija u AMI sistemima

3.2. Komunikacioni protokoli u AMI sistemima

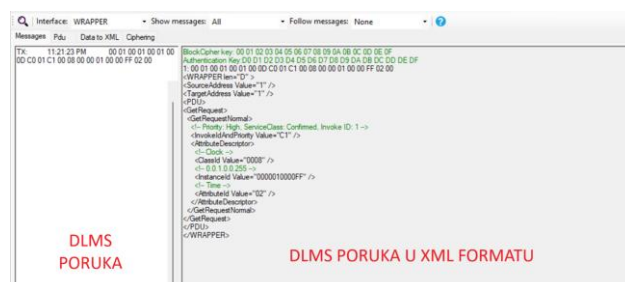
Komunikacioni protokoli u AMI sistemima predstavljaju skup pravila i standarda koji omogućavaju razmenu podataka između pametnih brojila, korisnika i distributivnih centara. Oni obezbeđuju pouzdanu, sigurnu i efikasnu komunikaciju, a izbor protokola zavisi od vrste energije, okruženja i zahteva sistema.

Najčešće se koristi DLMS/COSEM (IEC 62056), univerzalni i bezbedan standard za električna brojila, nezavisan od medijuma prenosa. M-Bus i Wireless M-Bus (EN 13757) namenjeni su vodi, gasu i toploti, jednostavni i energetski efikasni za masovno očitavanje.

U industriji je prisutan Modbus, praktičan za PLC/SCADA sisteme, ali bez napredne bezbednosti. Za kućne mreže koristi se ZigBee Smart Energy, pogodan za pametne uređaje i HEMS (Home Energy Management System), sa niskom potrošnjom i mesh topologijom. IEC 60870-5-102 primenjuje se u SCADA okruženjima za telemetriju i merenje, dok je DLT645 kineski standard za brojila, široko rasprostranjen lokalno, ali sa slabijom međunarodnom interoperabilnošću.

3.3. DLMS/COSEM

DLMS/COSEM (*Device Language Message Specification / Companion Specification for Energy Metering*), standardizovan kroz IEC 62056, predstavlja globalni okvir i de facto standard za komunikaciju sa pametnim brojilima. COSEM definiše semantiku podataka kroz objekte i OBIS (*Object Identification System*) kodove, dok DLMS određuje pravila razmene i pristupa, čime se obezbeđuje interoperabilnost uređaja različitih proizvođača. Zahvaljujući medijskoj neutralnosti, ovaj model funkcioniše preko PLC, RF, mobilnih i IP mreža, uz podršku „pull“ i „push“ komunikacije. Sistem uključuje višeslojnu bezbednost sa autentifikacijom, enkripcijom i digitalnim sertifikatima, što ga čini pogodnim za kritičnu infrastrukturu. Iako je implementacija kompleksna, DLMS/COSEM omogućava dugoročnu kompatibilnost, fleksibilno širenje i visoku pouzdanost, zbog čega predstavlja osnovu savremenih AMI sistema.



Slika 3. Primer sirove DLMS poruke prevedene u XML COSEM format

3.4. AMI (Advanced Metering Infrastructure)

Napredni meri sistemi (AMI) predstavljaju tehnološki okvir koji povezuje pametna brojila, komunikacione mreže i centralne sisteme za upravljanje podacima. Za razliku od osnovnih AMR rešenja, AMI omogućava dvosmernu komunikaciju, dinamičko tarifiranje, detekciju kvarova i aktivno učešće potrošača, čime postaje ključni stub razvoja pametnih mreža. Njegova arhitektura obuhvata brojila, komunikacione kanale, koncentratore, HES i MDMS platforme koje obezbeđuju prikupljanje, obradu i distribuciju podataka. Zahvaljujući naprednoj analitici i mogućnosti integracije sa drugim sistemima, AMI doprinosi efikasnijem upravljanju mrežom, većoj pouzdanosti i energetskej održivosti.

3.5. SmartGrid

Pametne elektroenergetske mreže (Smart Grid) predstavljaju evoluciju tradicionalnih sistema kroz primenu informacionih i komunikacionih tehnologija koje omogućavaju dvosmernu razmenu energije i podataka,

automatizaciju i integraciju obnovljivih izvora. Njihove ključne osobine su realno-vremensko praćenje, decentralizovano upravljanje, fleksibilna potrošnja i aktivna uloga korisnika-prosumera. Arhitektura Smart Grid-a obuhvata merni sloj sa pametnim brojilima i senzorima, komunikacione mreže, SCADA/DMS/EMS sisteme, analitičke alate zasnovane na AI i Big Data tehnologijama, kao i interakciju sa korisnicima kroz pametne domove, EV punjače i mikro-mreže.

U ovom okviru, AMI sistemi i pametna brojila čine temelj digitalizacije, omogućavajući prikupljanje podataka, detekciju kvarova, dinamičko tarifiranje i povezivanje distribuiranih izvora. Iako Smart Grid donosi bezbednosne i tehničke izazove - poput cyber napada, skalabilnosti i obrade ogromnih količina podataka - njegovi benefiti su dalekosežni: veća efikasnost, smanjene emisije, podrška elektromobilnosti i razvoj novih tržišnih modela. Budući trendovi uključuju primenu veštačke inteligencije, blockchain tehnologije i kvantno otporne bezbednosti, što će mrežu učiniti prediktivnom, fleksibilnom i otpornom na buduće izazove.

4. Primer DLMS desktop aplikacije za radnike elektrodistribucije

DLMS desktop aplikacija razvijena je u **WPF okruženju**, **C# (.NET)** programskog jezika, uz primenu **MVVM (Model-View-ViewModel)** arhitektonskog obrasca, što obezbeđuje jasnu separaciju logike, prezentacije i podataka, lakše održavanje koda i jednostavnije proširivanje funkcionalnosti. Namenjena je radnicima elektrodistribucije na terenu i u centrali, kao alat za dijagnostiku, konfiguraciju i otklanjanje kvarova na pametnim brojilima.

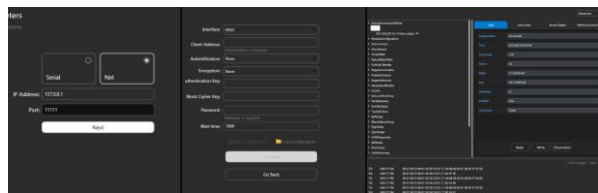
Komunikacija sa uređajima uspostavlja se preko serijske ili TCP konekcije, korišćenjem **DLMS poruka** definisanih prema **COSEM standardu (IEC 62056)**. Nakon odabira komunikacionog medijuma, korisnik definiše parametre povezivanja: u slučaju serijske komunikacije bira odgovarajući COM port (USB port na računaru na koji je povezan optički kabl ili RS485), dok se u slučaju mrežne (TCP/IP) komunikacije unose IP adresa i broj porta preko kojih se ostvaruje veza.



Slika 4. Optički port na DLMS brojilu

Nakon odabira komunikacionog medijuma definišu se odgovarajući konekcionni parametri uređaja, čime se stvaraju uslovi za uspostavljanje komunikacione veze. Nakon razmene poruka za uspostavljanje konekcije i uspostavljene konekcije, aktivira se mehanizam održavanja veze (*heartbeat*), koji obezbeđuje kontinuiranu razmenu podataka sve do eksplicitnog

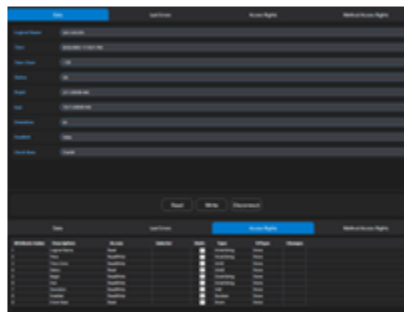
prekida sesije (održava se konekcija da ne bi doslo do connection timeout).



Slika 5. Korisnički interfejs aplikacije

Prvi korak interakcije sa brojilom nakon uspostavljanja konekcije podrazumeva čitanje **asocijacije** - kompletnog skupa konfiguracionih podataka koji obuhvata registre i funkcije uređaja. Proces se realizuje **Read** operacijom nad standardizovanim **OBIS kodovima**, pri čemu se dobijeni DLMS podaci transformišu u **XML objekte**, usklađene sa COSEM modelom. XML objekti se zatim parsiraju u okviru aplikacije i organizuju prema atributu **ObjectType**, čime se COSEM objekti grupišu u funkcionalne kategorije. Objekti istog tipa poseduju (po COSEM) identične metode i attribute, što omogućava standardizovan i pregledan rad. U korisničkom interfejsu podaci su vizualizovani kroz **Tree strukturu**, koja omogućava intuitivnu navigaciju kroz registre, pregled i izmenu atributa, kao i izvršavanje **read/write** operacija. Dodatno, aplikacija sadrži tab sa kompletnim pregledom registara i podešavanjima, gde se mogu videti sva polja registra i metode. Na dnu interfejsa nalazi se **log prozor**, gde se u realnom vremenu prikazuju sve razmenjene DLMS poruka prilikom isčitavanja datog registra.

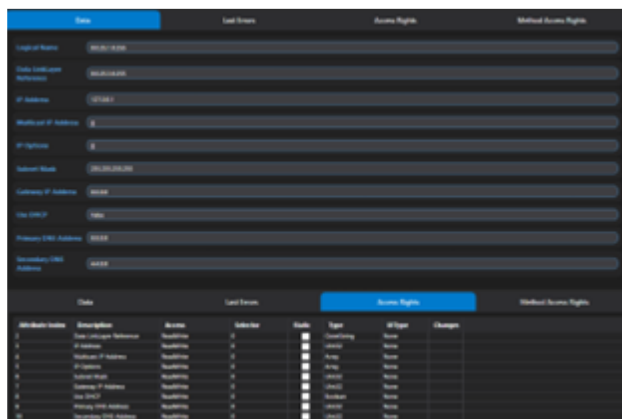
Jedna od osnovnih funkcionalnosti pametnih brojila jeste **Clock registar**, koji prema COSEM standardu sadrži vreme, vremensku zonu, status, podešavanja letnjeg računanja vremena i **clock base**. Važno je da ovaj registar bude sinhronizovan, jer svako brojilo funkcioniše kao eksterni servis i tačni vremenski podaci su ključni za određivanje trenutka alarma, očitavanja i drugih događaja. Kako kristalni oscilatori imaju odstupanje od nekoliko sekundi mesečno, periodična sinhronizacija sata obezbeđuje preciznost i pouzdanost sistema.



Slika 6. Clock registar

Kako je pametno brojilo mrežni uređaj, ono uobičajeno poseduje GPRS modul sa SIM karticom, dok se parametri mreže, poput APN-a, definišu u GPRS Setup registru. U IPv4 i IPv6 registrima prikazuju se mrežni parametri

uređaja, kao što su IP adresa, maska pod mreže i drugi relevantni podaci.



Slika 7. IPv4 registar

Sve merenje sa senzora (npr. trenutni napon, jačina struje, potrošnja) u skladu sa COSEM standardom čuva se u registrima tipa **Register**. Pored numeričke vrednosti, **Register** sadrži polja **Unit** i **Scaler**, pri čemu se realna vrednost dobija primenom faktora 10^{Scaler} i dodeljivanjem jedinice. Jednostavno čitanje podrazumeva slanje READ zahteva na odgovarajući **OBIS kod** (adresa registra) i atribut, a zatim parsiranje DLMS odgovora u objekat Register (vrednost + scaler + unit → odgovarajući C# tip).



Slika 8. Register frekvencije struje i trenutnog napona

S obzirom na to da svaki atribut u COSEM standardu ima definisan svoj tip, aplikacija vrši mapiranje tih tipova u odgovarajuće C# tipove radi pravilne interpretacije i obrade podataka.

Tabela 1. Mapa mapiranja COSEM tipova u C# tipove

COSEM tip	.NET/C# tip
Int8 / Int16 / Int32 / Int64	sbyte / short / int / long
Float32 / Float64	float / double
OctetString	byte[]
Array	List ili List

Proces čitanja registara prikazan je na Slici 9, gde se najpre uspostavlja konekcija sa uređajem, a zatim poziva metoda read za odgovarajući OBIS kod, atribut i tip podatka. Na osnovu prosleđenog tipa unapred je poznato koji podatak treba da bude vraćen (na osnovu prethodno pomenutog mapiranja u C# tipove), dok se nakon izvršenog čitanja dobija povratna vrednost atributa datog registra.

```
public async Task<Result<T, ResponseError>> Read<T>(DlmsReader
reader, AssociationDto association)
{
    var openResult = reader.Open();
    if (openResult.IsFailure)
        return openResult.Error;

    var returnItem = reader.Read(association.ObisCode,
(ObjectType)association.ObjectType,(DataType)association.DataType,
association.AttributeNo
);

    if (returnItem.IsFailure)        return returnItem.Error;

    return ret.Value;
}
```

Slika 9. Metoda za čitanje registra

Pored navedenih, brojilo podržava i čitav niz dodatnih registara, od kojih svaki ima svoju specifičnu ulogu u okviru kompletnog sistema.

5. ZAKLJUČAK

Savremeni elektroenergetski sistem prolazi kroz duboku transformaciju pod uticajem digitalizacije, održivosti i rastuće uloge krajnjih korisnika. U tom okviru, pametna brojila i napredni merni sistemi (AMI) čine osnovu nove energetske paradigme - omogućavajući dvosmernu komunikaciju, precizno merenje i aktivno upravljanje potrošnjom. Kao čvorišta pametnih mreža, brojila prevazilaze ulogu pasivnih uređaja i postaju ključni elementi u integraciji obnovljivih izvora i fleksibilnih tarifa. AMI obezbeđuje infrastrukturu za prenos i obradu podataka, dok Smart Grid objedinjuje sve komponente u celinu koja omogućava otporniji, efikasniji i održiv energetski sistem budućnosti.

6. LITERATURA

- [1] EC 62056 - DLMS/COSEM suite: Electricity metering data exchange. International Electrotechnical Commission.
- [2] DLMS User Association, Blue Book, Edition 17. Geneva, 2025.
- [3] DLMS User Association, Green Book, Edition 12. Geneva, 2025.
- [4] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 4.0. National Institute of Standards and Technology, 2021.

Kratka biografija:



Stefan Popović rođen je u Šapcu 2000. godine. Osnovne studije Primenjenog softverskog inženjerstva završio je na Fakultetu tehničkih nauka.kontakt: stefan.popowic00@gmail.com