

Ivica Hadjina
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
ivica.hadjina@hep.hr

Ivan Dizdar
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
ivan.dizdar@hep.hr

Vedran Nakić
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.
vedran.nakic@hep.hr

NAPREDNO BROJILO I FLEKSIBILNOST

SAŽETAK

Digitalna transformacija i uspostava napredne mreže nije moguća bez mjernih podataka pohranjenih u naprednom brojilu čija je vrijednost izravno proporcionalna vremenu raspoloživosti za različite slučajeve korištenja. Integracija distribuiranih resursa energije i novih tržišnih sudionika poput agregatora, energetske zajednice i skupine aktivnih kupaca postavljaju sve veće zahtjeve na napredna brojila.

U radu je dan pregled generičkih pridruženih profila koji trebaju omogućiti interoperabilnost i kompatibilnost naprednih brojila za različite slučajeve korištenja, uključujući i podršku fleksibilnosti.

Uz uvid u današnje mogućnosti i sučelja naprednih brojila kao i skupove raspoloživih mjernih podataka i događaja, navedeni su primjeri mogućih proširenja naprednog brojila pomoću poboljšanih komunikacijskih i rubnih modula kako bi se omogućila fleksibilnost aktivnih kupaca.

Ključne riječi: napredno brojilo, aktivan kupac, fleksibilnost, generički pridruženi profil

SMART METER AND FLEXIBILITY

SUMMARY

Digital transformation and the establishment of an advanced grid are not possible without metering data stored in a smart meter, the value of which is directly proportional to the time of availability for different use cases. The integration of distributed energy resources and new market participants such as aggregators, energy communities and active customers places increasing demands on smart meters.

The paper provides an overview of generic companion profiles that should enable interoperability and compatibility of smart meters for different use cases, including support for flexibility.

Along with an insight into today's capabilities and interfaces of smart meters as well as the sets of available measured data and events, examples of possible extensions of the advanced meter using improved communication and edge modules are provided to enable flexibility for active customers.

Key words: smart meter, active customer, flexibility, generic companion profile

1. UVOD

Masovna integracija distribuiranih resursa energije predstavlja ključan izazov za sigurno i stabilno upravljanje elektrodistribucijskom mrežom. U skladu sa strateškim pretpostavkama planiranja „do 2025, distribuirani izvori energije iza naprednog brojila premašit će 50% instalirane proizvodnje ispred naprednog brojila [1].“ Posljedica ove činjenice je pojava negativnih cijena za proizvedenu energiju i uzrok je temeljne transformacije naslijeđenog poslovnog modela iz „uvijek uključen“ prema „dopuštena uporaba“ mreže.

Proširene funkcije kojima se distribuirani resursi energije pretvaraju u upravljive, fleksibilne resurse uključuju: promjenu rasporeda, zadane vrijednosti napona, regulacijske usluge, upravljanje mikromrežom, optimalno dispečiranje, odgovor na potražnju i dinamičku stabilizaciju napona [1]. Postavlja se pitanje, kakva je uloga infrastrukture naprednih mjerenja i posebice naprednog brojila za podršku fleksibilnosti?

Analizom prigoda za kupce i mogućnostima poboljšanja za društvo/energetski sustav u dokumentu Procjena i plan za digitalnu transformaciju energetskog sektora prema inovativnom unutarnjem energetskom tržištu [2] utvrđeno je deset temeljnih slučajeva korištenja od kojih je u osam izvor podataka infrastruktura naprednih mjerenja, odnosno napredno brojilo, kako je prikazano u Tablici I. Detaljnijim uvidom u ostale izvore podataka za podršku slučajeva uporabe gdje je okosnica napredno brojilo može se utvrditi potpuna podudarnost sa korištenjem komunikacijske tehnologije/5G i vrlo velika podudarnost sa Internetom stvari, GIS-om, sustavima upravljanja energijom i mobilnim uslugama/aplikacijama. U Tablici I. dodatno su prikazane i digitalne tehnologije za vizualizaciju, analizu i evaluaciju podataka, a vrlo veliku podudarnost primjene sa infrastrukturom naprednih mjerenja imaju tehnologije umjetne inteligencije, obrade velikih količina podataka (big data), računalstva u oblaku i kibernetičke sigurnosti, a u nešto manjem broju slučajeva se primjenjuje rubno računalstvo, strojno učenje i prediktivna analiza.

Tablica I. Slučajevi uporabe naprednog brojila u odnosu na izvore podataka i digitalne tehnologije

Podudarnost sa primjenom naprednog brojila:		7/8	8/8	6/8	6/8	8/8	3/8	0/8	0/8	7/8	3/8
SLUČAJEVI UPORABE: Napredno brojilo /NMI	Izvori podataka:	Internet stvari	Napredna brojila / NMI	Sustavi upravljanja energijom	Mobilne usluge / aplikacije	Komunikacijske tehnologije / 5G	Ulančani blokovi / Distribuirane glavne knjige	Dronovi	Roboti	GIS	Socijalne mreže
1. Optimizacija na licu mjesta za komercijalne i industrijske korisnike i stambene zgrade	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE
	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA
2. Pametne četvrti	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA	NE
	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	DA
3. Energetski agregatori	NE	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE	DA	NE
	NE	DA	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE
4. Analiza podataka korisnika mreže	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA
5. Pametno punjenje EV i upravljanje punjenjem	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
	NE	DA	DA	DA	NE	NE	DA	DA	NE	NE	NE
6. Urbane podatkovne platforme	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
	NE	DA	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	DA
7. Energetske zajednice	DA	DA	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8. Pracenje podnjeta OIE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE
	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9. Poboljšani rad i održavanje	DA	NE	NE	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE
	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
10. Platforme tržišta fleksibilnosti	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	NE	DA	NE
	NE	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE
Digitalne tehnologije - Vizualizacija, analiza i evaluacija podataka:		Digitalni bliznac	Umjetna inteligencija (AI)	Big Data	Računalstvo u oblaku	Rubno računalstvo	Prediktivna analiza	Kiberne- tička sigurnost	Proširena realnost (AR)	Virtualna realnost (VR)	Strojno učenje (ML)
Podudarnost sa primjenom naprednog brojila:		1/8	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	7/8	0/8	0/8	4/8

Vrijednost kojom doprinosi napredno brojilo u slučajevima korištenja sadržana je u mjernim podacima o potrošnji/proizvodnji i automatskoj dojadi bitnih događaja. Stoga su prema slučajevima korištenja postavljeni zahtjevi na podatke o potrošnji/proizvodnji u smislu njihove validnosti (validni ili nevalidni), starosti (bliski stvarnom vremenu ili povijesni), granulaciji (duljini intervala), vrsti nastanka podataka (agregirani ili nastali po uporabi) te prema komunikacijskim zahtjevima s obzirom na dvosmjernost, kako je prikazano u Tablici II. Kada je u pitanju fleksibilnost, najčešće se traže podaci u gotovo stvarnom vremenu za koje je teško postići potvrđene (validne) podatke. Ako se zahtijevaju povijesni podaci tada svakako trebaju biti potvrđeni (validni).

Tablica II. Zahtjevi na podatke o potrošnji/proizvodnji za slučajeve uporabe naprednog brojila [2]

Slučaj uporabe naprednog brojila	Podvrsta slučaja uporabe	Korisnik mjernih podataka	Validnost (V-validni, NV-nevalidni)	Starost (SV-stvarno vrijeme, P-povijesni)	Granulacija	Vrsta podataka (A-agregirani, U-prema uporabi)	Komunikacijski zahtjevi
Optimizacija na licu mjesta za komercijalne i industrijske korisnike i stambene zgrade	Upravljanje energijom u zgradi (BEM), upravljanje energijom u kući (HEM)	kupac opskrbljivač ili ESCO ODS	NV	SV	≤1min 15-min	U	Dvosmjernost
Pametne četvrti	/	kupac opskrbljivač ili ESCO ODS	V	SV	≤1min 15-min	A U	Dvosmjernost
Energetski agregatori	/	kupac opskrbljivač ili ESCO	V NV	SV P	≤1min 15-min h	U	Dvosmjernost
Analiza podataka korisnika mreže	/	kupac opskrbljivač ili ESCO	NV	SV	≤1min 15-min	A U	Dvosmjernost
Pametno punjenje EV i upravljanje punjenjem	Vozilo-mreža jednosmjerno (V1G)	kupac opskrbljivač ili ESCO	V	P	h	A	/
	Vozilo-mreža dvosmjerno (V2G)	opskrbljivač ili ESCO	V NV	SV	≤1min 15-min	A	Dvosmjernost
Urbane podatkovne platforme	/	kupac opskrbljivač ili ESCO	NV	SV	≤1min 15-min	A U	Dvosmjernost
Energetske zajednice	izravno trgovanje (peer-to-peer)	kupac opskrbljivač ili ESCO ODS	V	P	>h	A	/
	skupna samoopskrba	opskrbljivač ili ESCO	V	P	>h	A	/
Platforme tržišta fleksibilnosti	/	opskrbljivač ili ESCO	V	SV	≤1min 15-min	A	Dvosmjernost

Slijedom ovih činjenica, za podršku fleksibilnosti, potrebno je uspostaviti platformu nepotvrđenih podataka u gotovo stvarnom vremenu i platformu potvrđenih povijesnih podataka uz poštivanje načela u pogledu interoperabilnosti i nediskriminirajućim i transparentnim postupcima za pristup podacima o mjerenju i potrošnji prema referentnom modelu Provedbene uredbe Komisije (EU) 2023/1162.

2. PROMJENE U EKOSUSTAVU I STATUS STANDARDIZACIJE

Demokratizacija elektrodistribucijske mreže uvjetovana je različitim vlasništvom distribuiranih resursa energije i pojavom dvosmjernog toka energije. Paralelno ovom procesu klasični kupci (potrošači) postaju aktivni kupci (potrošači, proizvođači i tržišni sudionici). Ova promjena „potaknut će nove zahtjeve u razmjeni podataka i kibernetičkoj sigurnosti, a neuspjeh u ispunjavanju ovih novonastalih potreba ugrožit će otpornost sustava [3].“ Razvidno je da izgradnja infrastrukture naprednih mjerenja u smislu potpune zamjene elektromehaničkih brojila sa umreženim naprednim brojilima koji podržavaju dvosmjerni prijenos informacija predstavlja samo osnovni korak digitalizacije elektrodistribucijskog sustava jer neće biti dovoljna bez značajne softversko/hardverske nadogradnje i podrške fleksibilnosti.

2.1. Izravno povezani sustavi s infrastrukturom naprednih mjerenja

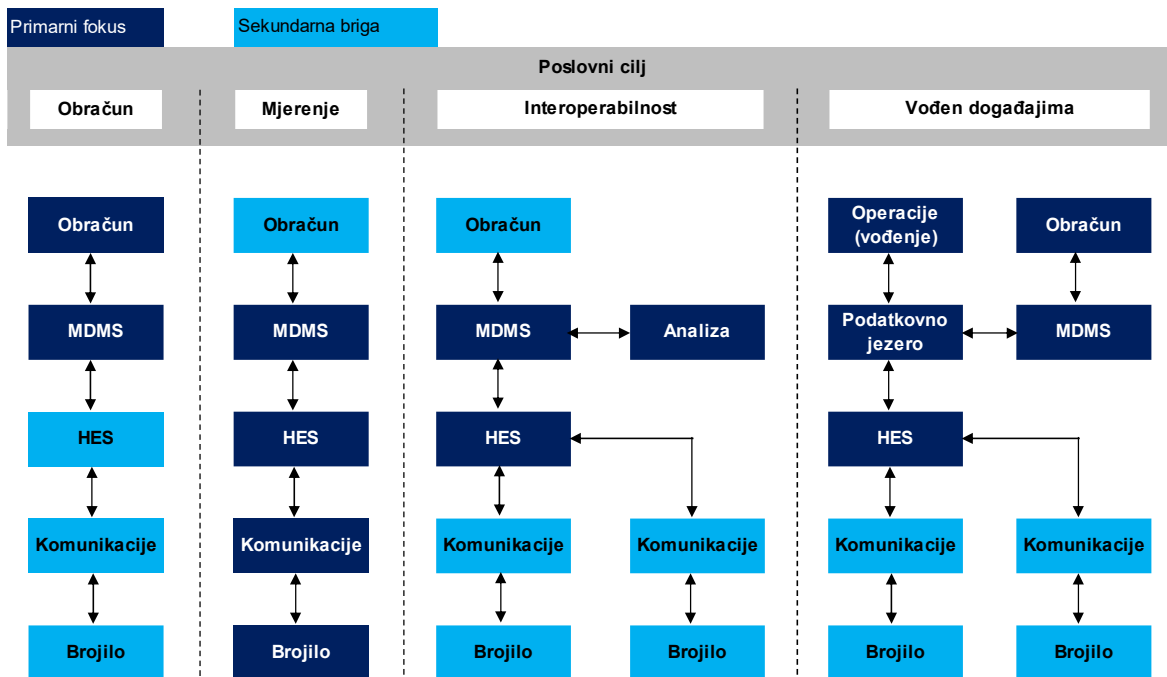
Izgradnjom infrastrukture naprednih mjerenja u užem shvaćanju (napredna brojila, komunikacijska infrastruktura i sustavi za daljinsko očitavanje brojila) i primjenom naslijeđenog sustava za obračun dodatno je potrebno znatno proširiti softversko i hardversko okruženje, odnosno nadići sadašnji poslovni proces od brojila do naplate. Minimalno je potrebna nadogradnja infrastrukture naprednih mjerenja u širem smislu sa:

- sustavom za upravljanje mjernim podacima (MDMS - engl. Meter Data Management System) koji obuhvaća potpunu strojnu i programsku opremu za upravljanje prikupljanjem mjernih

podataka iz brojila električne energije unutar napredne mjerne infrastrukture, zatim izvršava njihovo spremanje i obradu te predstavlja inteligentno sučelje između sustava za daljinsko očitavanje naprednih brojila (HES - engl. Head-End System) raznih proizvođača i poslovnog sustava u kojem se vrši obračun (SAP) te ostalih sustava koji su nužni radi dohvaćanja potrebnih matičnih podataka za rad ili prosljeđivanje mjernih podataka,

- sustavom za upravljanje mjernom infrastrukturom (MOC - engl. Metering Operation Center) koji je izravno povezan sa MDM sustavom, a koristi se za nadzor rada napredne mjerne infrastrukture i procesa, nadzor događaja i alarma, izvođenje masovnih operacija u naprednoj mjernoj infrastrukturi i stvaranje dinamičkih i statičkih grupa,
- sustavom za zaštitu komunikacije sa naprednim brojilima (KMS - engl. Key Management System) koji je jednako kao i MOC sustav izravno povezan sa MDMS sustavom i obuhvaća svu strojnu i programsku opremu koja se koristi za upravljanje i vođenje životnog ciklusa ključeva, upravljanje certifikatima te provođenje potrebnih simetričnih i asimetričnih kriptografskih funkcija posebice glede šifriranja i dešifriranja poruka, razmjene certifikata doprinoseći osiguranju cjelovitog rješenja sigurnosti komunikacije u kompletnom sustavu infrastrukture naprednih mjerenja [4].

Implementacija MDM/MOC/KMS platforme omogućit će uz fiksne tarife uvođenje dinamičkih tarifa kao i razvoj tarifnog sustava kojim bi se moglo potaknuti trošenje električne energije u odnosu na sezonske razlike i za vrijeme negativnih cijena energije. Obračunski mjerni podaci koji su još uvijek na mjesečnoj osnovi, postupno će postati 15-minutni za sva mjerna mjesta koja sudjeluju u programima fleksibilnosti, a kod aktivacije ugovora za pružanje usluge fleksibilnosti za aktivne kupce sa priključenjem na srednjem naponu blizu realnog vremena.



Slika 1. Načini izvedbe MDMS projekata [5]

Tradicionalni MDMS sustavi služe kao pouzdane platforme za pohranu podataka, ali su bez napredne analize podataka i strojnog učenja. Poboľšani MDMS sustavi (E-MDMS, engl. Enhanced MDMS) su kritični za modernizaciju poslovanja jer uključuju naprednu analizu podataka, algoritme strojnog učenja i rubno računalstvo, omogućuju prediktivno održavanje te otkrivanje anomalija u stvarnom vremenu i optimizirano uravnoteženje opterećenja uz postupnu integraciju s poslovnim i procesnim informatičkim sustavima. Stoga se i napredna brojila postupno iz pasivnih mjernih uređaja pretvaraju u operativne rubne platforme za optimizaciju podržavajući aktivne kupce koji mogu odgovoriti na cijene i kontrolne signale u

stvarnom vremenu putem automatizacije. Na ovaj način, poboljšani MDMS zajedno sa naprednim brojilima u kojima su implementirane funkcionalnosti rubnog računalstva pomažu u upravljanju i optimizaciji nestabilnih energetske profila, osiguravajući učinkovit rad mreže i naponske prilike u zadanim granicama.

Na Slici 1. su prikazani načini izvedbe MDMS projekata te je razvidna migracija iz klasičnih poslovnih modela usmjerenih na obračun i mjerenje prema modelu interoperabilnosti proširenog sa naprednom analizom podataka. Najnoviji pristup obuhvaća poslovanje vođeno događajima gdje se podaci pohranjuju u vremenskim serijama unutar podatkovnog jezera sa prosljeđivanjem signala o događajima prema procesnim informatičkim sustavima, a pomoću MDMS sustava, nakon automatiziranih VEE procedura (engl. Validation, Estimation, Editing), prosljeđuju u naslijeđene sustave za obračun.

2.2. Napredna brojila postaju računalni čvorovi u dubini mreže

Napredna brojila, kada se transformiraju u inteligentne rubne računalne čvorove, postaju moćni alati za prikupljanje podataka, obradu i donošenje odluka. Infrastruktura naprednih mjerenja sa brojilima nadograđenih mogućnostima rubnog računalstva naziva se AMI 2.0 (engl. Advanced Metering Infrastructure).

U ovom slučaju se upravljanje opterećenjem, skladištenje i proizvodnja zajedno mogu dispečirati kao fleksibilan resurs, ali uz prethodnu nadogradnju firmvera naprednog brojila. Za potrošače to znači poboljšanu kvalitetu električne energije, pristup korištenju energije na razini uređaja u stvarnom vremenu, mogućnost sudjelovanja u programima fleksibilnih tarifa te bolje praćenje i upravljanje distribuiranim resursima energije i punjenje električnih vozila i/ili punjenje/praznjenje baterijskih spremnika.

2.3. Ostali sustavi za podršku fleksibilnosti

Kako bi se zaokružio ekosustav za podršku fleksibilnosti potrebna je migracija različitih sustava u tehnologiju oblaka koja je prilagođena primjeni tehnika strojnog učenja i umjetne inteligencije. Ovo se poglavito odnosi na:

- poboljšani sustav za informiranje kupaca E-CIS (engl. Enhanced - Customer Information System), dok klasični CIS predstavlja bazu podataka ili softversku aplikaciju koja se koristi za pohranu i upravljanje podacima o kupcu uključujući informacije o ugovorima, povijesti narudžbi, preferencijama i interakcijama, E-CIS je integrirani naslijeđeni sustav za upravljanje odnosima sa kupcima CRM (engl. Customer Relationship Management) sa infrastrukturom u oblaku, uz rukovanje složenim tarifama i operacijama te dispečiranjem obnovljivih izvora energije,
- sustav za upravljanje naprednom distribucijom (ADMS – Advanced Distribution Management System), predstavlja sustav za podršku rada mreže za distribuciju električne energije u gotovo stvarnom vremenu kako bi se optimiziralo korištenje imovine i minimizirali gubici uključujući upravljanje prekidima i obnovu uz korištenje mrežnog modela za vizualizaciju mreže i optimizaciju u stvarnom vremenu,
- sustav za upravljanje distribuiranim resursima energije (DERMS – Distributed Energy Resource Management System), prikazan na Slici 2. sa tržišnim zahtjevima za sposobnosti DERMS sustava, „otvara priliku za implementaciju novih modela monetizacije mreže, kao što su upravljanje zagušenjem i distribucijske granične cijene [1]“, budući da sudjelovanje aktivnog kupca traži cjenovno vrednovanje distribuiranih resursa energije.

Upravljanje energijom		Opterećenje Energetska arbitraža Proizvodnja	Orkestracija energije
Nadzor	Pohrana	Cijena	
Dostupnost energije		Optimizacija Zagušenje	

Slika 2. Tržišni zahtjevi za sposobnosti DERMS sustava [1]

2.4. Status standardizacije

Potrebno je standardizirati način na koji će se međusobno povezati distribuirani izvori energije s elektroenergetskim sustavima i pripadajućim sučeljima, uključujući i sučelja naprednog brojila. Stanje standardizacije za podršku fleksibilnosti se donekle razlikuje u SAD i EU.

U normi IEEE1547 specificirani su zahtjevi relevantni za izvedbu, rad, testiranje, sigurnost i održavanje međusobno povezanih distribuiranih izvora energije sa elektroenergetskom mrežom, uključujući opće zahtjeve, odgovor na nenormalne uvjete, kvalitetu električne energije, točne i ispitne specifikacije i zahtjeve za dizajn, proizvodnju, procjenu instalacije, puštanje u pogon i periodična ispitivanja. Normom UL1741 osigurava da je svaki pretvarač proizveden, programiran i ispitan u skladu sa standardom međusobnog povezivanja, dok se normom ANSI C84.1 definira raspon napona za pravilan rad distribuiranih resursa energije. Norma IEEE 2030.5 se polako pojavljuje kao standard sučelja, isto kao i informacijska konstrukcija za podršku razmjeni podataka između sudionika ekosustava. IEEE 2030.5 dobiva širu podršku od industrijskih tijela kao što su Međunarodno vijeće za velike električne sustave (CIGRE), Institut za istraživanje električne energije (EPRI) i Društvo IEEE Power & Energy Society (PES). Ispitivanje usklađenosti s tipom dobavljača hardvera do softvera u oblaku ostaje izazovno, ali je bitno za olakšavanje razmjene podataka između sudionika [1]. U normi IEEE 2030.5 je sadržan protokol za elektropoduzeća za komunikaciju sa obnovljivim izvorom energije, pruža Priručnik za Open Source implementacije skupa protokola koji se može odmah implementirati u uređaje i agregatore obnovljivih izvora energije. EU je donijela Prijedlog standarda i protokola za razmjenu podataka EU-SysFlex D5.5 objavljen 2021. godine.

Unutar DLMS skupine normi sadržan je ACESM generički pridruženi profil (engl. AC Electricity Smart Meter Generic Companion Profile) koji definira slučajeve uporabe i funkcionalnosti za napredno mjerenje i napredne mreže. U Tablici III. je popis 21 slučaja uporabe i funkcionalnosti koje su navedene u ACESM GCP-u. Trenutno su standardizirani GCP-i za integraciju EV punionica, za zaslone s informacijama za kupca i za očitavanje vode i plina, dok su ostali generički pridruženi profili u izradi.

Tablica III. Generički pridruženi profili u DLMS standardu

Red. br.	Grupa slučajeva uporabe	Slučaj uporabe
1.	Napredno mjerenje	Očitavanje brojila
2.		Upravljanje profilom opterećenja
3.		Upravljanje tarifama
4.		Obračun i pretplata
5.		Nadzor kvalitete energije
6.		Daljinska nadogradnja firmvera
7.		Upravljanje događajima i alarmima
8.		Zaslon s informacijama za kupca
9.		Daljinsko uključenje/isključenje
10.		Odziv potražnje
11.	Napredna mreža	Integracija distribuiranih izvora energije
12.		Uravnoteženje opterećenja i predviđanje
13.		Regulacija napona i frekvencije
14.		Sustav upravljanja prekidima
15.		Detekcija krađe energije
16.		Izravno (peer-to-peer) trgovanje energijom
17.		Nadzor stanja mreže
18.		Integracija EV punjenja
19.		Otočni rad mreže
20.	Međusektorski i popratni	Kibernetička sigurnost i privatnost
21.		Interoperabilnost i usklađenost sa standardima

3. SUČELJA NAPREDNIH BROJILA

Napredna brojila u izravnom spoju koja se ugrađuju u mrežu HEP ODS-a imaju slijedeća komunikacijska sučelja:

- za lokalnu komunikaciju: osnovno optičko IR sučelje (servisno sučelje),
- za daljinsku komunikaciju: G3-PLC sučelje za komunikaciju sa koncentраторom podataka i/ili GPRS/LTE sučelje sa HES sustavima,
- sučelje za mjerne uređaje drugih energenata: bežični i/ili žični M-Bus,
- sučelje za korisnika mreže: P1 ili M-Bus.

Podaci na sučelju za korisnika mreže naprednih brojila u izravnom mjerenju s učestalošću osvježavanja svakih 10 s su popisani u Tablici IV. Treba napomenuti da je sučelje programabilno.

Tablica IV. Podaci na sučelju za korisnika mreže (izravno mjerenje)

Red.br.	Oznaka	Opis	3F KOMBI	1F KOMBI	3F RADNO	1F RADNO
1	1-0:96.1.0	Serijski broj	DA	DA	DA	DA
2	1-0:0.9.1	Vrijeme	DA	DA	DA	DA
3	1-0:0.9.2	Nadnevak	DA	DA	DA	DA
4	1-0:1.8.0	A+ T0	DA	DA	DA	DA
5	1-0:1.8.1	A+ T1	DA	DA	DA	DA
6	1-0:1.8.2	A+ T2	DA	DA	DA	DA
7	1-0:2.8.0	A- T0	DA	DA	DA	DA
8	1-0:2.8.1	A- T1	DA	DA	DA	DA
9	1-0:2.8.2	A- T2	DA	DA	DA	DA
10	1-0:5.8.0	R1 T0	DA	DA	NE	NE
11	1-0:6.8.0	R2 T0	DA	DA	NE	NE
12	1-0:7.8.0	R3 T0	DA	DA	NE	NE
13	1-0:8.8.0	R4 T0	DA	DA	NE	NE
14	1-0:1.7.0	P+(t)	DA	DA	DA	DA
15	1-0:2.7.0	P-(t)	DA	DA	DA	DA
16	1-0:13.7.0	PF(t)	DA	DA	NE	NE
17	1-0:21.7.0	P+(t) L1	DA	NE	DA	NE
18	1-0:41.7.0	P+(t) L2	DA	NE	DA	NE
19	1-0:61.7.0	P+(t) L3	DA	NE	DA	NE
20	1-0:22.7.0	P-(t) L1	DA	NE	DA	NE
21	1-0:42.7.0	P-(t) L2	DA	NE	DA	NE
22	1-0:62.7.0	P-(t) L3	DA	NE	DA	NE
23	1-0:32.7.0	U(t) L1	DA	DA	DA	DA
24	1-0:52.7.0	U(t) L2	DA	NE	DA	NE
25	1-0:72.7.0	U(t) L3	DA	NE	DA	NE
26	1-0:31.7.0	I(t) L1	DA	DA	DA	DA
27	1-0:51.7.0	I(t) L2	DA	NE	DA	NE
28	1-0:71.7.0	I(t) L3	DA	NE	DA	NE
29	0-0:17.0.0	LIMIT_P	DA	DA	DA	DA
30	1-0:31.4.0	LIMIT_I(L1)	DA	DA	DA	DA
31	1-0:51.4.0	LIMIT_I(L2)	DA	NE	DA	NE
32	1-0:71.4.0	LIMIT_I(L3)	DA	NE	DA	NE
33	0-0:96.3.10	Stanje sklopnika	DA	DA	DA	DA

Od signalnih sučelja napredna brojila u izravnom spoju koja se ugrađuju u mrežu HEP ODS-a imaju dva izlaza i najmanje jedan ulaz:

- impulsni izlaz, min. 80 mA, min. 230 V_{AC}, sa informacijom o preuzetoj A+ energiji.
- relejni izlaz, min. 5 A, min. 230 V_{AC} – sa različitim pridruženim skriptama za promjenu stanja prema definiranom rasporedu, promjeni tarife, određenom pragu djelatne snage ili struje, na zahtjev iz HES sustava,
- minimalno jedan ulaz, optokapler, min. 4,7 V_{DC}, koristi se za priključenje vanjskog bežnaponskog tipkala kako bi se kupcu omogućilo uključanje integriranog sklopnog uređaja u brojilu, ulaz i/ili ulazi se mogu prenamijeniti za detekciju alarma ili druge namjene.

Napredna brojila u poluizravnom ili neizravnom spoju koja se ugrađuju u mrežu HEP ODS-a imaju slijedeća komunikacijska sučelja:

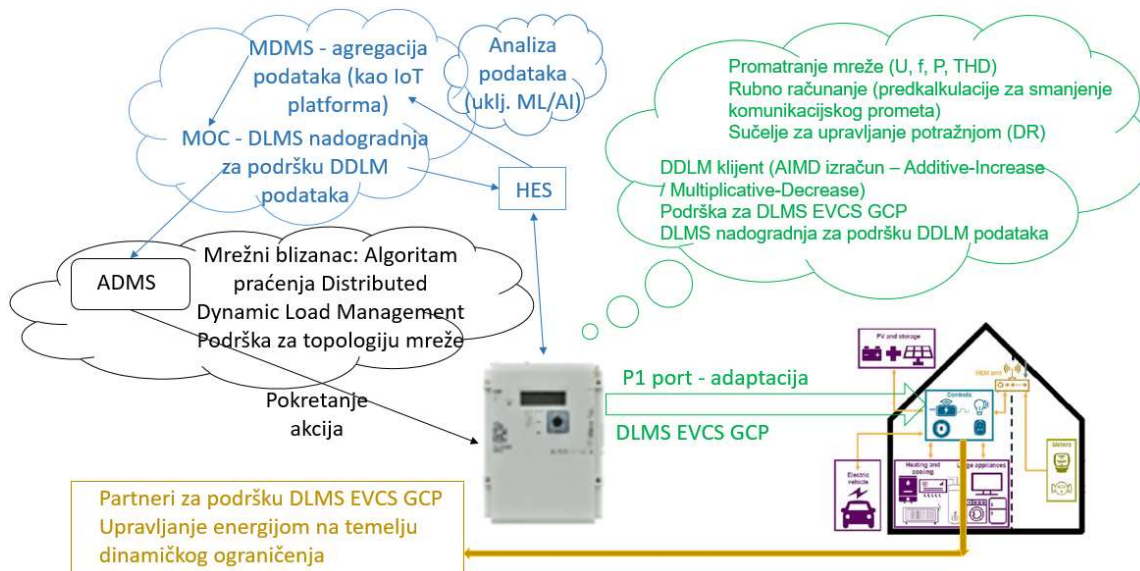
- za lokalnu komunikaciju: osnovno optičko IR sučelje (servisno sučelje),
- za daljinsku komunikaciju sa HES sustavima: ovisno o izvedbi komunikacijskog modula izravno GPRS/LTE ili izravno Ethernet sučelje ili posredno RS485 sučeljem na GPRS/LTE i/ili Ethernet komunikacijskom modulu koncentratora podataka, razmjena podataka je DLMS protokolom,
- za daljinsku komunikaciju sa SCADA sustavima: Ethernet sučelje prema protokolima IEC 60870-5-104 i Modbus, za Modbus protokol može se koristiti i neko od serijskih sučelja RS485 ili RS232 ili RS422,
- sučelje za korisnika mreže: šest programabilnih impulsnih izlaza sa postavljenim energijama A+, A-, R1, R2, R3 i R4, na zahtjev korisnika često je i konfiguracija A+, A-, R+, R-, promjena tarife T1/T2, impuls za početak svakog 15-minutnog intervala.

4. PRIMJERI PRIMJENE NAPREDNOG BROJILA ZA PODRŠKU FLEKSIBILNOSTI

U nastavku je kratko opisan primjer primjene naprednog brojila za podršku fleksibilnosti na mreži niskog napona i primjer na mreži srednjeg napona.

4.1. Primjer podrške fleksibilnosti primjenom naprednog brojila na mreži niskog napona

Stanice za punjenje električnih vozila koriste informaciju o događaju raspoloživosti kapaciteta kao ulaz za lokalni algoritam dinamičkog upravljanja opterećenjem. Radi se o implementaciji temeljito testiranog algoritma za izbjegavanje zagušenja koji se koristi u TCP/IP komunikaciji, a naziva se AIMD (aditivno povećanje/multiplikativno smanjenje – engl. Additive Increase/Multiplicative Decrease).



Slika 3. Arhitektura i procesi za upravljanje EV punionicama dinamičkim ograničenjem snage

Načelo rada AIMD algoritma je:

- ako je ukupna snaga (izmjerena naprednim brojilom) ispod maksimalne snage, snaga punjenja se povećava za fiksni korak,
- ako ukupna snaga prekorači ograničenje, snaga punjenja se smanjuje za određeni faktor [6].

MDMS je implementiran u tehnologiji oblaka i služi za agregaciju podataka kao IoT platforma sa pridruženim algoritmima tehnika strojnog učenja i umjetne inteligencije. Potrebne skupne nadogradnje uređaja ili potrebne akcije pripremaju se u MOC-u koji šalje pripremljene skripte izravno u HES na izvršenje i dalje prema naprednom brojilu. Drugi način je da se akcije iniciraju kroz poslužitelj za algoritam praćenja distribuiranog dinamičkog opterećenja DDLM (engl. Distributed Dynamic Load Management), koji je u tehnologiji oblaka, kao dio ADMS sustava na kojem je implementacija mrežnog blizanca (engl. Grid Twin) sa podrškom za topologiju mreže. Napredno brojilo ima funkcionalnost rubnog računanja (firmver je nadograđen sa nekoliko linija koda) i služi kao DDLM klijent, izvršava promatranje stanja mreže i izvršava predkalkulacije kako bi se smanjio komunikacijski promet. S adaptiranim P1 sučeljem za korisnika mreže, koji služi kao sučelje za odziv potražnje (engl. Demand Response) u skladu sa DLMS GCP profilom za EV punionice šalje signale u sustav aktivnog kupca za upravljanje energijom EMS (engl. Energy Management System), vanjski partneri prilagođavaju sučelje na temelju dinamičkog ograničenja snage. Ovo je primjer za alternativni način upravljanja snagom kojeg samostalno inicira brojilo kao rubni uređaj, dok je standardan način da operator EV punionica (engl. Charging Point Operator) pomoću sustava za upravljanje punionicama (engl. Charging Point Management System) u skladu s OCPP protokolom (engl. Open Charge Point Protocol) šalje izravno signale sustavu za upravljanje energijom (engl. Energy Management System). Za komunikaciju između punionica i EMS-a koriste se dva komunikacijska kanala: kanal za prikupljanje podataka, gdje punionice periodički šalju profile opterećenja punjenja izmjerene naprednim brojilima punionice i kanal kapaciteta, gdje EMS povremeno šalje ažurirane podatke o kapacitetu stanicama za punjenje.

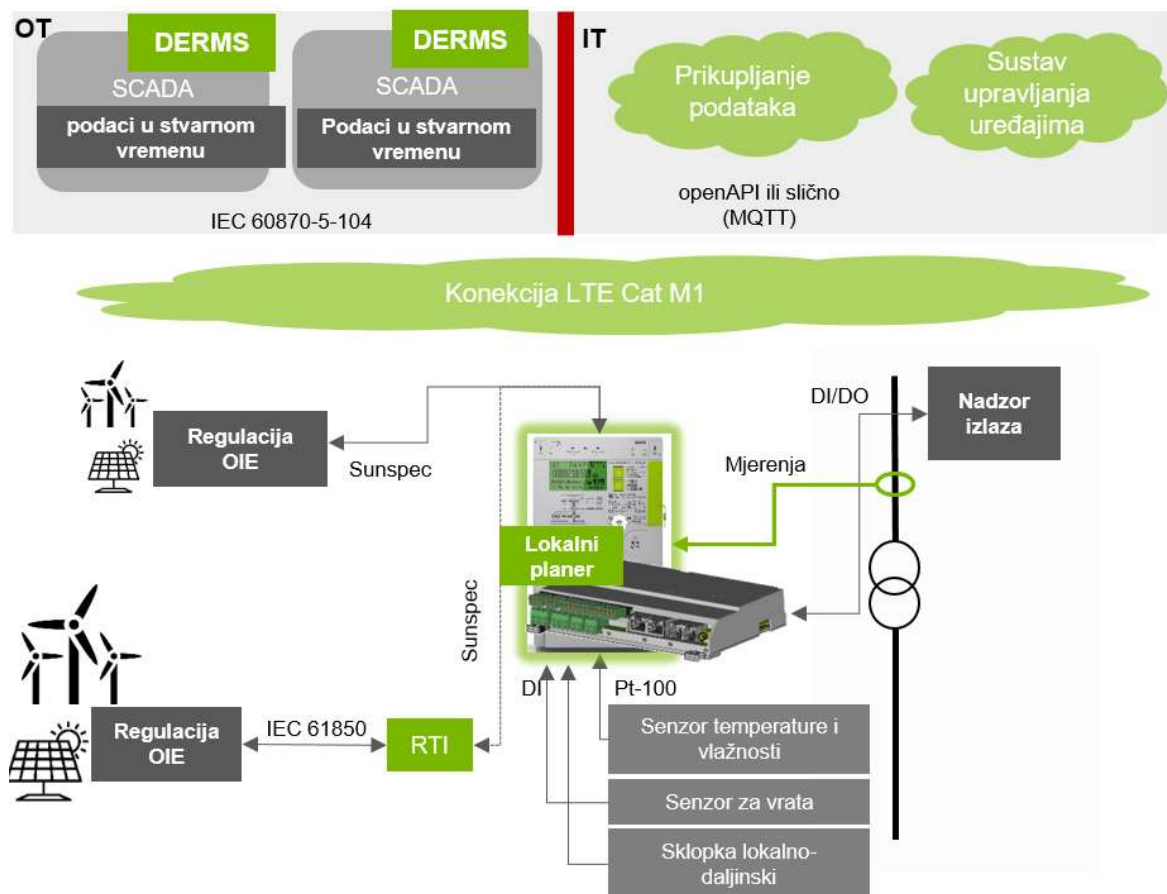
4.2. Primjer podrške fleksibilnosti primjenom naprednog brojila na mreži srednjeg napona

Na slici 4. prikazan je primjer upravljanja obnovljivim izvorima energije pomoću središnjeg i rubnog nadzora na mreži srednjeg napona. Postoje dva OT centra sa izravnom daljinskom vezom sa SCADA sustavom pomoću IEC 60870-5-104 protokola za središnji nadzor i upravljanje mrežom u koje se šalju podaci u stvarnom vremenu. Lokalna komunikacija sa regulacijskim sklopovljem obnovljivog izvora energije OIE izvršava se izravno prema Sunspec protokolu (inačica Modbus protokola) ili kroz sučelje udaljene terminalne jedinice prema IEC 61850 protokolu. Veza sa IT sustavima za prikupljanje podataka i sustavom za upravljanje uređajima odvija se kroz javnu mobilnu mrežu LTE Cat M1 uslugom pomoću openAPI (otvoreni API opisni format za REST API) ili sličnih otvorenih standarda, primjerice MQTT (engl. Message Queuing Telemetry Transport), koji podržavaju vodeći TCP/IP komunikacijski protokol.

U ovom primjeru podržana su lokalna očitavanja senzora za temperaturu i vlažnost u zasebnom profilu i šalju se u sustav za analizu koji služi za izračun starenja transformatora. Komunikacijski modul može čitati status digitalnih ulaza DI (engl. Digital Inputs) i slati ih u SCADA sustav, primjerice alarme koji se odnose na pogonsko stanje, senzor otvaranja vrata, nadzor stanja ulaza. Isto tako, komunikacijski modul koji ima funkcionalnost rubnog računala, može pretvarati naredbe iz SCADA sustava pomoću IEC 60870-5-104 protokola prema digitalnim izlazima DO (engl. Digital Outputs). Komunikacijski modul naprednog brojila može pretvarati naredbe iz SCADA sustava preko IEC 60870-5-104 u Modbus naredbe i slati ih prema regulacijskom sklopovlju OIE ili inverterima. Pomoću Web korisničkog sučelja komunikacijskog modula moguće je daljinski izvršiti nadogradnju firmvera. Dodatna mogućnost je slanje mjernih vrijednosti sa nadzornih uređaja koji rade na Modbus protokolu pomoću komunikacijskog modula prema SCADA sustavu protokolom IEC 60870-5-104. K tome, moguće je pokrenuti lokalni algoritam za nadzor digitalnih izlaza DO kako bi se upravljalo inverterom OIE što predstavlja primjer rubnog nadzora i primjene rubne inteligencije. Komunikacijski modul može pokrenuti lokalni planer koji je usklađen sa SCADA DERMS modulom za upravljanje zadanim točkama za nadzor invertera.

Napon na pretvaraču se upravlja pomoću algoritma za kontrolu napona VCA (engl. Voltage Control Algorithm). Algoritam prima informacije od brojila, povezan je s DLMS/COSEM klijentom i poduzima različite radnje ovisno o usporedbi izmjerenih napona s konfiguriranim pragovima (kritičan prenapon, prenapon, nominalan napon, podnapon, kritičan podnapon i ispad napona). Radnje se poduzimaju s programabilnim vremenskim odgodama. Algoritam radi na četiri načina: mod nadzora djelatne energije, mod nadzora jalove energije, kombinirani mod nadzora djelatne/jalove energije i mod nadzora energije

ručnim upravljanjem. Upravljanje se radi promjenom stanja na digitalnim izlazima (po jedan za jalovu induktivnu i jalovu kapacitivnu snagu, te četiri izlaza za regulaciju djelatne snage prema pragovima na 100%, 60%, 30% i 0%).



Slika 4. Upravljanje obnovljivim izvorima energije na srednjem naponu – središnji i rubni nadzor [7]

5. ZAKLJUČAK

Napredno brojilo kao izvor izmjerenih podataka i zapisa o događajima evoluiru u naprednije brojilo sa funkcionalnostima rubnog računala postajući moćan alat za prikupljanje podataka, obradu i donošenje odluka. Na ovaj način naprednije brojilo dobiva ulogu posrednika za podršku fleksibilnosti prijenosom tržišnih signala ili signala stanja iz napredne mreže i sklopovlja kod aktivnog kupca (HEMS ili BEMS) te obrnuto. Izvedba fleksibilnosti kod aktivnog kupca ostaje u ovlasti kupca uključujući upravljanje opterećenjem, proizvodnjom i skladištenjem energije. Trenutno stanje standardizacije sučelja naprednog brojila i sustava upravljanja energijom u instalaciji aktivnog kupca nije zadovoljavajuće te se očekuje publikacija niza generičkih pridruženih profila unutar DLMS normi za podršku usluga fleksibilnosti.

Kako bi se mogle iskoristiti proširene mogućnosti naprednijih brojila, potrebno je procesiranje algoritama dijelom u samom brojilu i dijelom u oblaku, poglavito primjenom tehnika umjetne inteligencije i strojnog učenja. Stoga je nužno postupno formiranje hardverskog i softverskog okruženja za podršku fleksibilnosti sa migracijom na tehnologiju oblaka pomoću izravno povezanih sustava sa naprednijom mjernom infrastrukturom AMI 2.0 kao što su E-MDMS, MOC i KMS te ostalih sustava koji omogućuju fleksibilnost primjerice E-CIS, ADMS i DERMS.

Zajedno sa E-MDMS sustavom potrebno je implementirati platformu nepotvrđenih podataka u gotovo stvarnom vremenu, a uz naslijeđeni sustav za obračun povezati platformu potvrđenih povijesnih podataka poštujući načela u pogledu interoperabilnosti i nediskriminirajućim i transparentnim postupcima za pristup podacima o mjerenju i potrošnji prema referentnom modelu Provedbene uredbe Komisije (EU) 2023/1162.

6. LITERATURA

- [1] L. Jones, J. A. Clynch, „Market Guide for DERMS“, Gartner, studeni 2023.
- [2] „Assessment and roadmap for the digital transformation of the energy sector towards an innovative internal energy market“, Final Report, European Commission, listopad 2019.
- [3] L. Jones, J. A. Clynch, „Market Guide for Advanced Distribution Management Systems“, Gartner, travanj 2024.
- [4] T. Baričević, A. Pavlinić, K. Stupin, M. Skok, „Stručna i znanstvena potpora definiranju industrijskog rješenja za umrežavanje brojila i upravljanje mjernim podacima“, Studija, El Hrvoje Požar, ožujak 2022.
- [5] L. Jones, J. A. Clynch, „Market Guide for Meter Data Management Systems“, Gartner, studeni 2024.
- [6] „Services for energy driven smart homes“, Deliverable D5.5, The BRIGHT Project, EU's Horizon 2020, travanj 2023.
- [7] N. Zalaznik, „Manage Grid Beter – DER Management“, Presentacija, prosinac 2023.