

**NAPREDNO BROJILO U NAPREDNOJ
MREŽI**

Mr. sc. Ivica Hadjina

Sadržaj:

- Digitalna transformacija energetskeg sektora – slučajevi uporabe naprednog brojila
- Napredno brojilo i zahtjevi za podršku fleksibilnosti
- Sučelja naprednog brojila
- Potrebne platforme za podršku fleksibilnosti
- Primjer uporabe naprednog brojila kod fleksibilnosti na NN mreži
- Primjer uporabe naprednog brojila kod fleksibilnosti na SN mreži

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

SLUČAJEVI UPORABE:	Izvori podataka:	Internet stvari	Napredna brojila / AMI	Sustavi upravljanja energijom	Mobilne usluge / aplikacije	Komunikacijske tehnologije / 5G	Blockchain / DLT	Dronovi	Roboti	GIS	Socijalne mreže
1. Optimizacija na licu mjesta za komercijalne i industrijske korisnike i stambene zgrade		DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	NE
		DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA
2. Pametne četvrti		DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA	NE
		NE	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	DA
3. Energetski agregatori		NE	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE	DA	NE
		NE	DA	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE
4. Analiza podataka korisnika mreže		DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
		NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	DA
5. Pametno punjenje EV i upravljanje punjenjem		DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
		NE	DA	DA	NE	NE	DA	DA	NE	NE	NE
6. Urbane podatkovne platforme		DA	DA	DA	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA
		NE	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE	NE	DA
7. Energetske zajednice		DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	NE	NE	NE
		NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
8. Praćenje podrijetla OIE		NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	NE
		NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
9. Poboļjšani rad i održavanje		DA	NE	NE	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE
		DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
10. Platforme tržišta fleksibilnosti		DA	DA	DA	NE	DA	DA	NE	NE	DA	NE
		NE	DA	DA	DA	NE	NE	DA	NE	NE	NE
Vizualizacija, analiza i evaluacija podataka:	Digitalni bliznac	Umjetna inteligencija (AI)	Big Data	Računalstvo u oblaku	Rubno računalstvo	Prediktivna analiza	Kibernetička sigurnost	Proširena realnost (AR)	Virtualna realnost (VR)	Strojno učenje (ML)	

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

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 / AMI	Izvori podataka:	Internet stvari	Napredna brojila / AMI	Sustavi upravljanja energijom	Mobilne usluge / aplikacije	Komunikacijske tehnologije / 5G	Blockchain / DLT	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
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	NE	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. Praćenje podrijetla 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	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE
Vizualizacija, analiza i evaluacija podataka:		Digitalni blizanac	Umjetna inteligencija (AI)	Big Data	Računalstvo u oblaku	Rubno računalstvo	Prediktivna analiza	Kibernetička 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

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

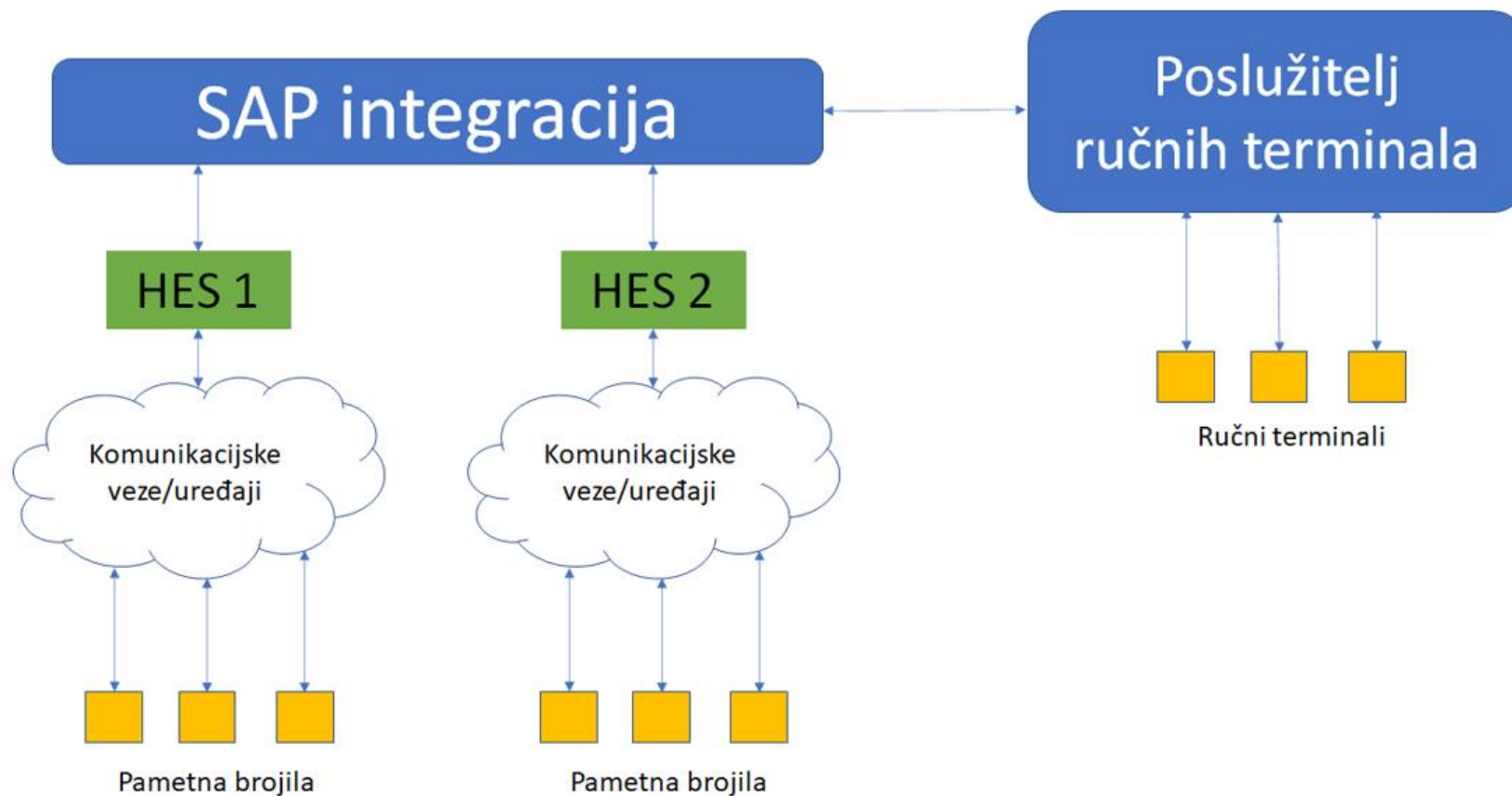
Zahtjevi na podatke o potrošnji/proizvodnji

ZAHTJEVI NA PODATKE O POTROŠNJI/PROIZVODNJI ZA SLUČAJEVE UPORABE NAPREDNOG BROJILA	Podvrsta	Korisnici mjernih podataka	Validnost (V-validni, NV- nevalidni)	Starost (RT- stvarno vrijeme, H- povijesni)	Granulacija	Vrsta (A- agregirani, U-prema uporabi)	Komunika- cijski zahtjevi
1. Optimizacija na licu mjesta za komercijalne i industrijske korisnike i stambene zgrade	BEM, HEM	Kupac, opskrbljivač ili ESCO, ODS	NV	RT	≤1min, 15-min	U	Dvosmjernost
2. Pametne četvrti	/	Kupac, opskrbljivač ili ESCO, ODS	V	RT	≤1min, 15-min	A, U	Dvosmjernost
3. Energetski agregatori	/	Kupac, opskrbljivač ili ESCO	V, NV	RT, H	≤1min, 15-min, h	U	Dvosmjernost
4. Analiza podataka korisnika mreže	/	Kupac, opskrbljivač ili ESCO	NV	RT	≤1min, 15-min	A, U	Dvosmjernost
5. Pametno punjenje EV i upravljanje punjenjem	V1G	Kupac, opskrbljivač ili ESCO	V	H	h	A	/
	V2G	Opskrbljivač ili ESCO	V, NV	RT	≤1min, 15-min	A	Dvosmjernost
6. Urbane podatkovne platforme	/	Kupac, opskrbljivač ili ESCO	NV	RT	≤1min, 15-min	A, U	Dvosmjernost
7. Energetske zajednice	izravno trgovanje (peer-to-peer)	Kupac, opskrbljivač ili ESCO, ODS	V	H	>h	A	/
	skupna samoopskrba	Opskrbljivač ili ESCO	V	H	>h	A	/
10. Platforme tržišta fleksibilnosti	/	Opskrbljivač ili ESCO	V	RT	≤1min, 15-min	A	Dvosmjernost

Zapažanja u svezi podataka o potrošnji/proizvodnji:

- Napredno brojilo je nužno za digitalnu transformaciju
- Vrijednost je u informacijama – mjernim podacima
- Uglavnom se zahtijeva dvosmjerna komunikacija
- Traže se podaci u gotovo stvarnom vremenu – poglavito za fleksibilnost – teško je postići potvrđene podatke
- Ako se primjenjuju povijesni podaci tada trebaju validni podaci
- Platforma nepotvrđenih podataka u gotovo stvarnom vremenu
- Platforma potvrđenih povijesnih podataka

Trenutno stanje integracije naprednog brojila u HEP ODS-u



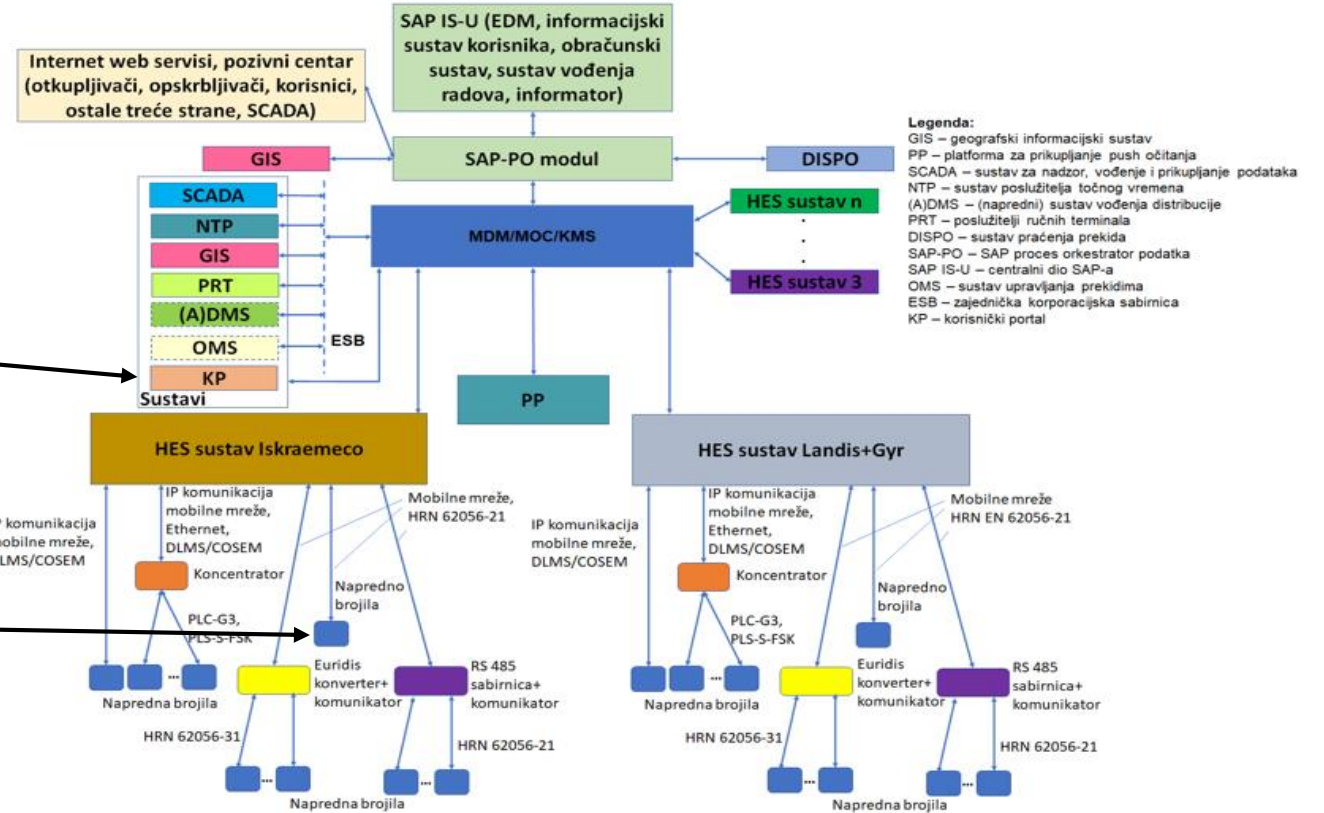
AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

Ciljano stanje integracije naprednog brojila u HEP ODS-u

Platforma za potvrđene povijesne podatke

Platforma za nepotvrđene podatke u gotovo stvarnom vremenu



Uz primjenu referentnog modela prema Provedbenoj uredbi EK 2023/1162 o zahtjevima u pogledu interoperabilnosti i nediskriminirajućim i transparentnim postupcima za pristup podacima o mjerenju i potrošnji.

Promjene – Poslovni model

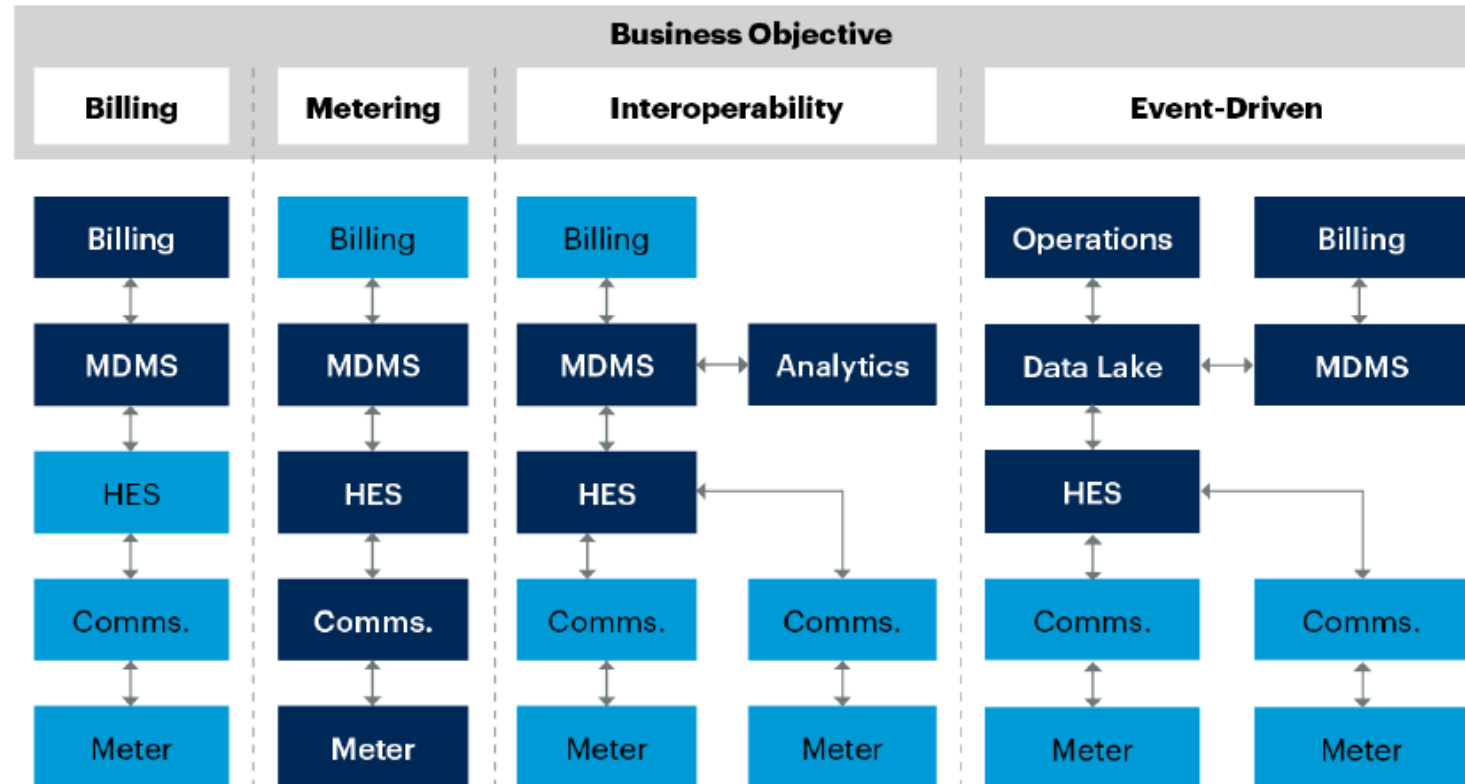
- Poslovni model dostupnosti mreže iz „**uvijek uključen**” uslijed integracije OIE u mrežu mijenja se u „**dopuštena upotreba**”
- Uz **fiksne** tarife uvode se **dinamičke** tarife
- Trošila su **upravljana** i **neupravljana**
- Klasični kupci (**potrošači**) postaju aktivni kupci (**potrošači i proizvođači i tržišni sudionici**) – različito vlasništvo uzrokuje **demokratizaciju** energije
- Mjerni podaci: **mjesečni** → **15-minutni** → **blizu realnog vremena**
- SW sa lokacije (**on-prem**) seli u oblak (**cloud**) kao PaaS ili SaaS

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

MDMS Project Patterns

■ Primary Focus ■ Secondary Concern



Source: Gartner
763735_C

Načini izvedbe MDM projekata

Promjene: MDMS → E-MDMS (Poboljšani MDMS)

- Pretvaraju napredna brojila iz **pasivnih** mjernih uređaja u napredne **operativne** rubne platforme za optimizaciju.
- E-MDMS pomaže u **upravljanju** i **optimizaciji** nestabilnih energetske profila, **osiguravajući učinkovit rad mreže i naponske prilike u zadanim granicama**, ključni su za proširenje inteligentnih operacija do ruba mreže.
- Podržavaju rastući ekosustav **aktivnih kupaca** koji mogu odgovoriti na **cijene i kontrolne signale u stvarnom vremenu** kroz automatizaciju.
- Omogućavanjem individualizirane kontrole i korištenjem rubnog računalstva, E-MDMS povećava **otpornost sustava i poboljšava kvalitetu napajanja**, što rezultira smanjenim prekidima rada.

Promjene: AMI → AMI 2.0

- Napredna brojila, kada se transformiraju u **inteligentne rubne računalne čvorove**, postaju moćni alati za prikupljanje podataka, obradu i donošenje odluka
- Opterećenje, skladištenje i proizvodnja zajedno se mogu dispečirati kao **fleksibilan resurs** – potrebne nadogradnje **FW** brojila za mogućnost orkestracije energije
- Mogućnosti otkrivanja **anomalija**
- **Dvosmjerni** tok energije - unosi nove zahtjeve u razmjeni podataka i kibernetičkoj sigurnosti - napredne tehnologije kibernetičke **sigurnosti**
- Za potrošače to znači **poboljšanu kvalitetu** električne energije, pristup korištenju energije na razini uređaja u stvarnom vremenu, mogućnost sudjelovanja u programima **fleksibilnih tarifa** i bolje praćenje i **upravljanje OIE-ovima** i punjenjem **EV**-a i baterijskih spremnika.

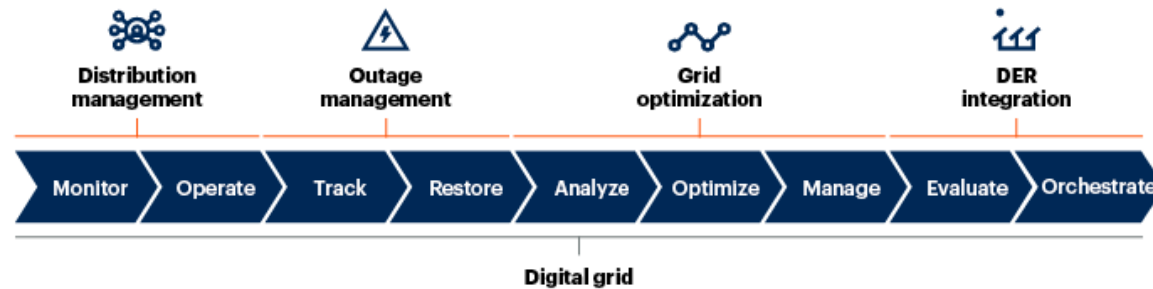
Promjene: SW

- **E-CIS** (unaprijeđeni CIS) – integrira naslijeđeni sustav sa infrastrukturom u oblaku, CRM, rukovanje složenim tarifama i operacijama i dispečiranjem OIE
- Veća ulaganja u **DERMS** i **ADMS**, primjena tehnika **AI** i **ML**
- **ADMS** - podržati povećanje iskorištenosti imovine i minimiziranje gubitaka putem metoda kao što su volt/volt-amper reaktivna optimizacija (VVO) i očuvanje (konzervacija) smanjenjem napona (CVR)
- **Mrežni blizanac** (grid twin) – mrežni model koji treba automatizirati i riješiti analitičke slučajeve upotrebe od operacija kao što je fleksibilnost opterećenja do planiranja sustava

ADMS i DERMS

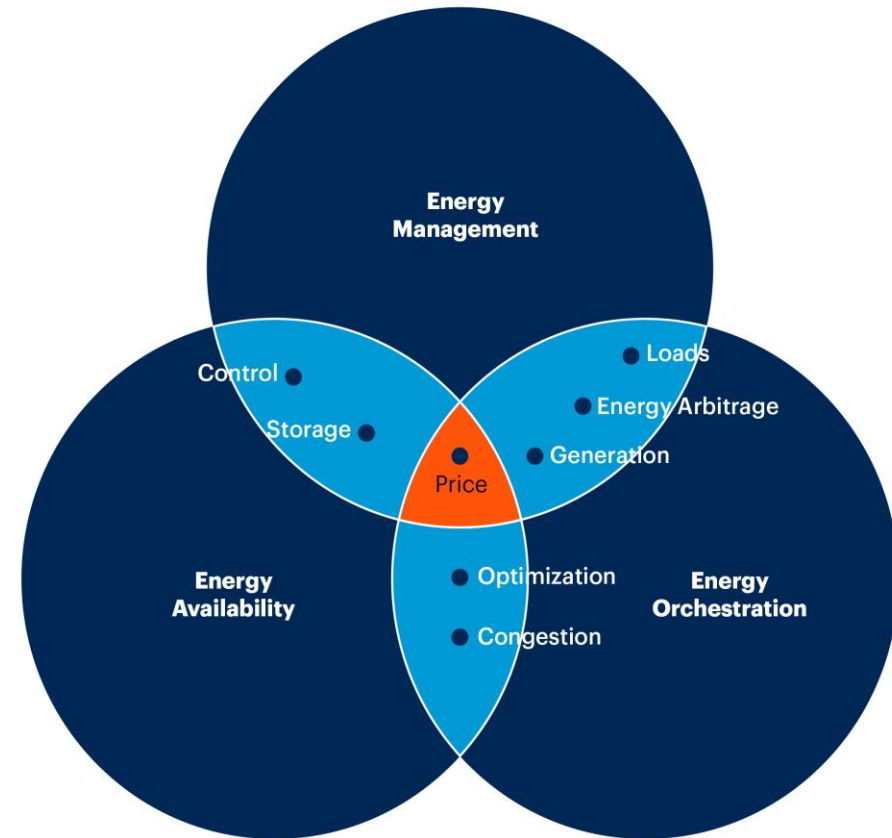
ADMS Functional Scope

Advanced distribution management



Source: Gartner
DER = distributed energy resource
780678_C

Market Requirements for DERMS Capabilities



Gartner.

Source: Gartner
775999_C

Standardi za interoperabilnost i povezivost OIE

- IEEE1547 - zahtjevi relevantne za izvedbu, rad, testiranje, sigurnost i održavanje međusobno povezanih OIE sa mrežom
- UL1741 - osigurava da je svaki pretvarač proizveden, programiran i ispitan u skladu sa standardom međusobnog povezivanja
- ANSI C84.1 – definira raspon napona za pravilan rad OIE
- EPRI IEEE 2030.5 - zadani protokol za elektropoduzeća za komunikaciju s OIE, pruža Priručnik za Open Source implementacije skupa protokola koji se može odmah implementirati u OIE uređaje i OIE agregatore
- **DLMS EVCS GCP** – profil za punjače za regulaciju snage punjenja

Komunikacijska sučelja naprednog brojila u izravnom spoju

- Osnovno - lokalna komunikacija: optičko IR,
- Daljinska komunikacija: G3-PLC komunikacija uz koncentrator podataka,
- Daljinska komunikacija: GPRS/LTE komunikacija,
- Sučelje za mjerne uređaje drugih energenata: M-Bus,
- Sučelje za korisnika mreže: (P1 ili M-Bus).

Signalna sučelja naprednog brojila u izravnom spoju – izlazi

- 1 impulsni izlaz, min 80mA, min. 230 VAC – informacija o preuzetoj A+
- 1 relejni izlaz, min. 5A, min. 230 VAC – definirani raspored, promjena tarife, određeni prag djelatne snage ili struje ili napona, na zahtjev

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

Podaci na sučelju za korisnika mreže (izravno mjerenje) – dio 1

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

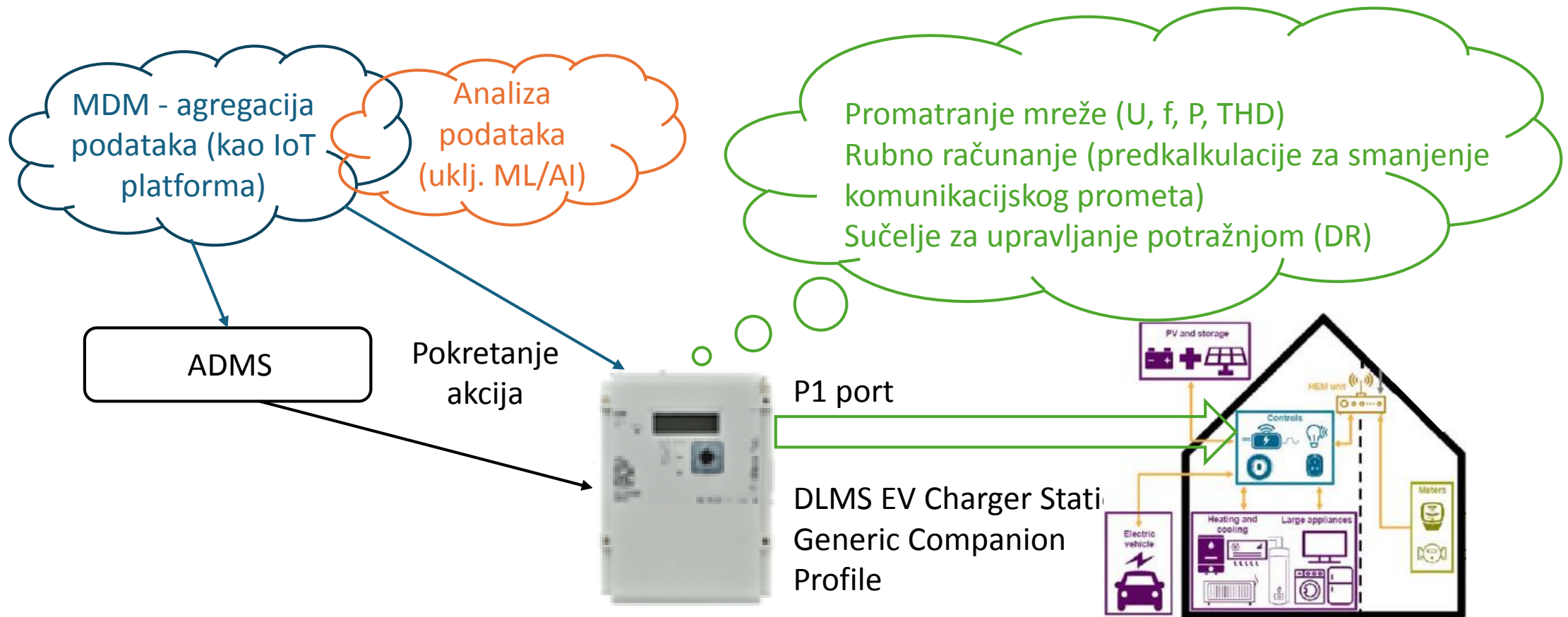
AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

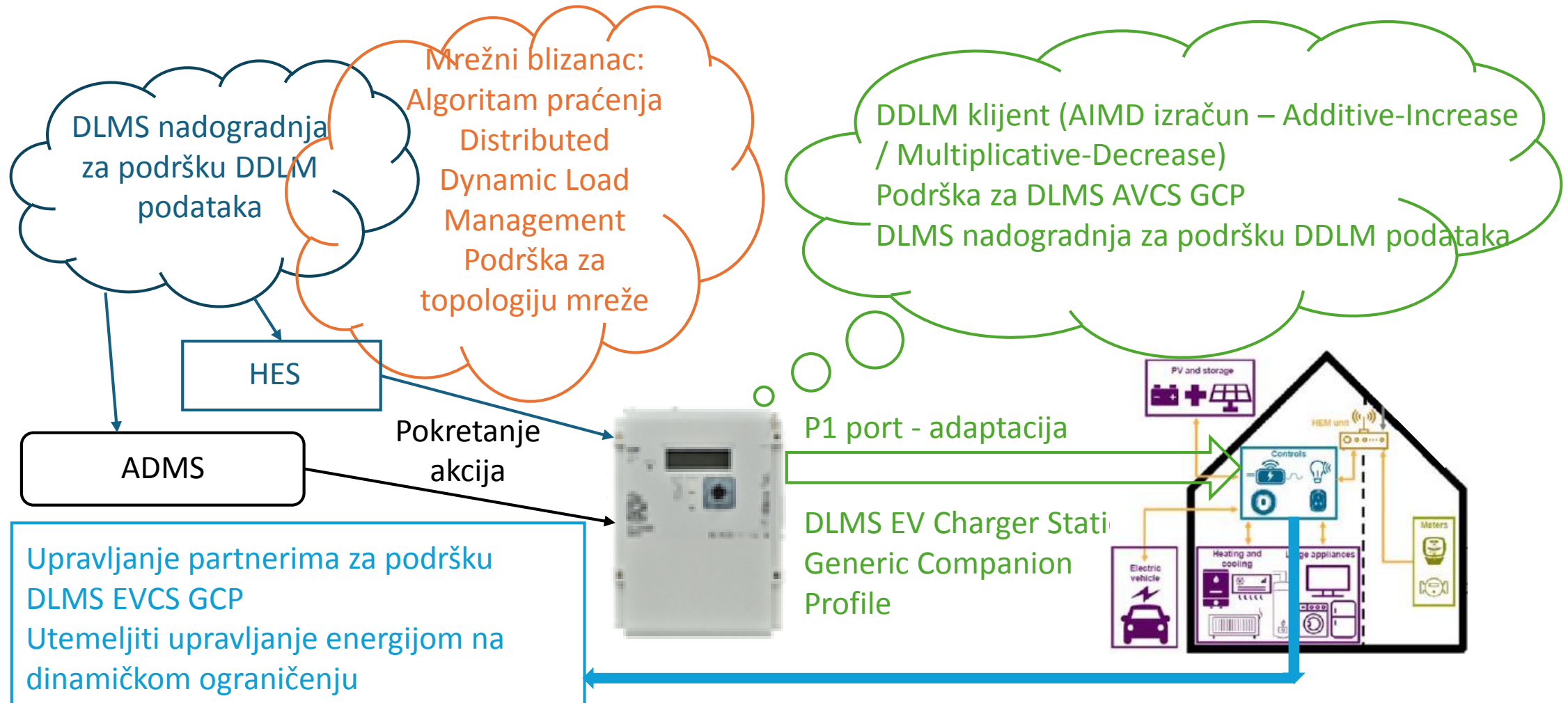
Podaci na sučelju za korisnika mreže (izravno mjerenje) – dio 2

Red.br.	Oznaka	Opis	3F KOMBI	1F KOMBI	3F RADNO	1F RADNO
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

Fleksibilnost na NN mreži – primjer



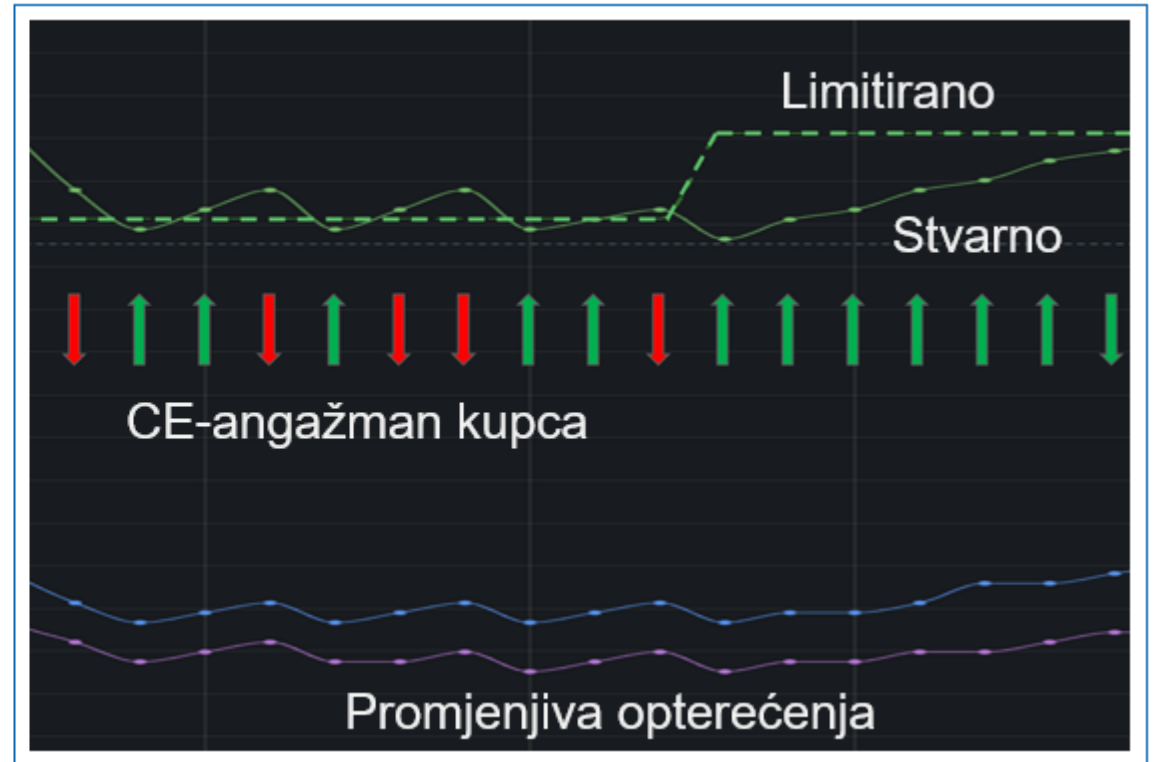
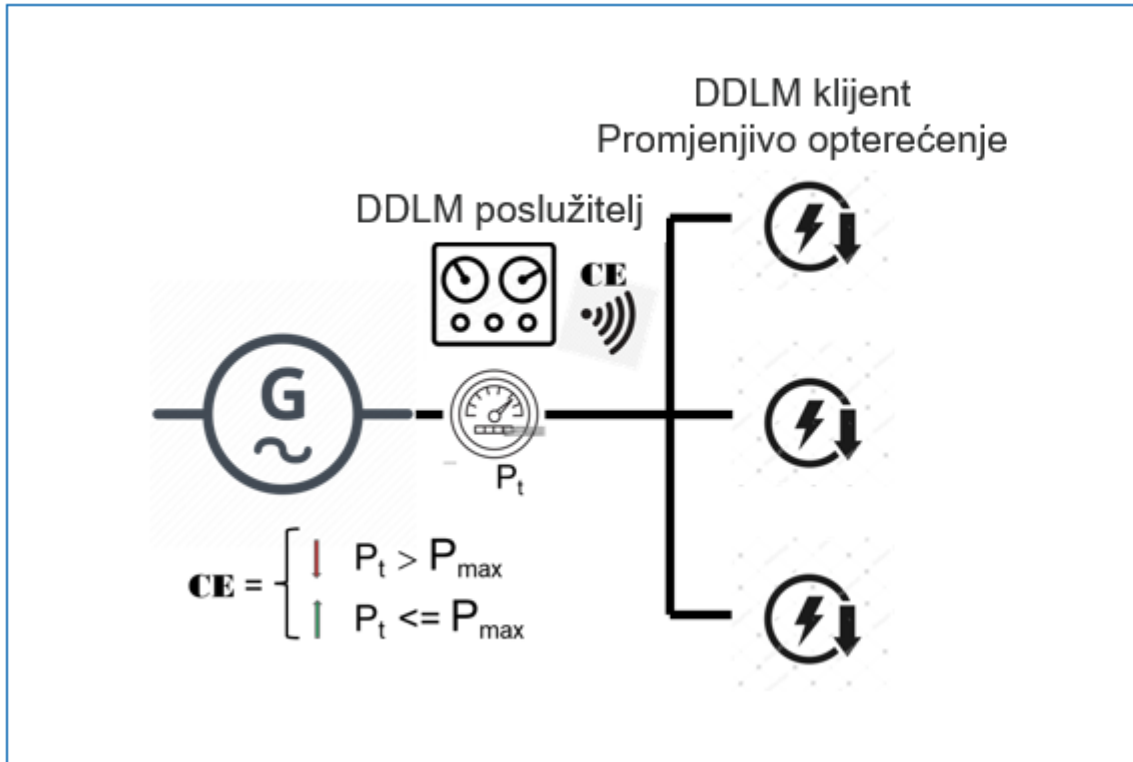
Fleksibilnost na NN mreži – implementacija



AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

Algoritam DDLM (Distribution Dynamic Load Management) – načelo rada



AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

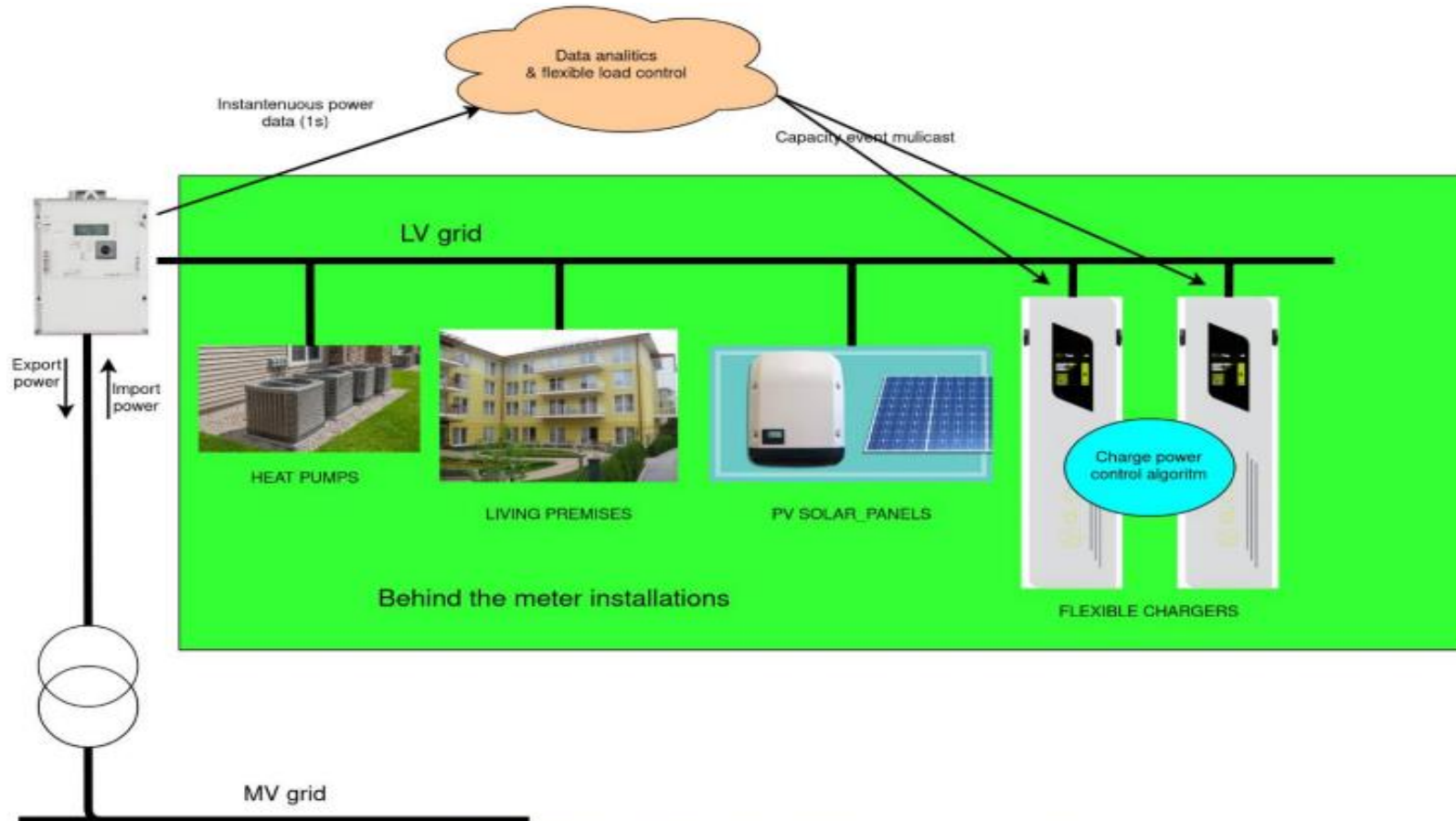


Figure 10: Architecture of EV charging station management system.

Arhitektura
sustava
za upravljanje
punionicama

Algoritam AIMD (additive increase/multiplicative decrease)

Algoritam modulacije snage dinamičkog punjenja – načelo rada:

- Ako je ukupna snaga (izmjerena naprednim brojilom) ispod maksimalne snage, snaga punjenja se povećava za fiksni korak
- Ako ukupna snaga premaši ograničenje, snaga punjenja se smanjuje za određeni faktor
- Za komunikacijski kanal između punionica i EMS-a koriste se dva komunikacijska kanala: kanal za prikupljanje podataka, gdje punionice periodično šalju profile opterećenja punjenja izmjerene naprednim brojilima punionice i kanal kapaciteta, gdje EMS povremeno šalje ažurirane podatke o kapacitetu stanicama za punjenje.

Algoritam AIMD – primjena za punionice



Komunikacijska sučelja naprednog brojila u neizravnom/poluizravnom spoju

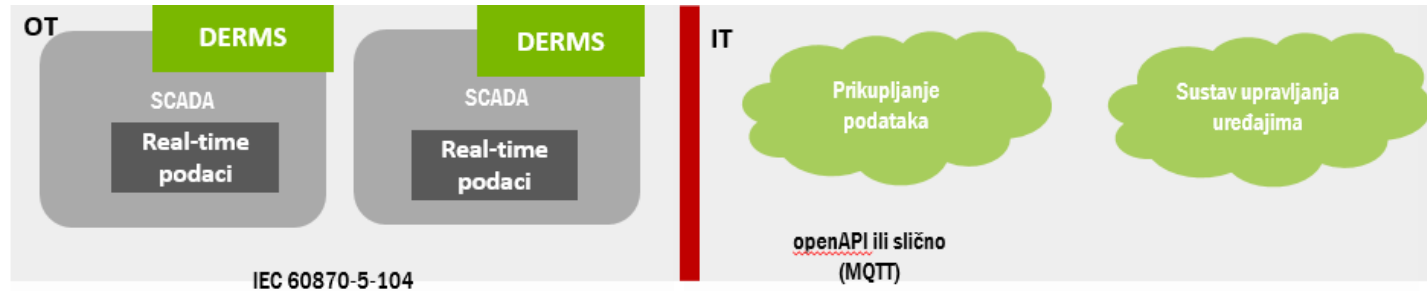
- Osnovno lokalna komunikacija: optičko IR (protokoli DLMS i OBIS),
- Dodatno lokalna komunikacija: parica RS485 (protokoli DLMS i OBIS),
- Daljinska komunikacija: GPRS/LTE ili Ethernet (protokoli DLMS i OBIS),
- Za SCADA sustav: Ethernet (protokoli EN 60870-5-104 i MODBUS).

Signalna sučelja naprednog brojila u ne/poluizravnom spoju – ulazi i izlazi

- 6 programabilnih izlaza: 12–240 VDC/VAC
- 3 programabilna ulaza (nadzor pomoćnih kontakata): <5V, <5mA

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

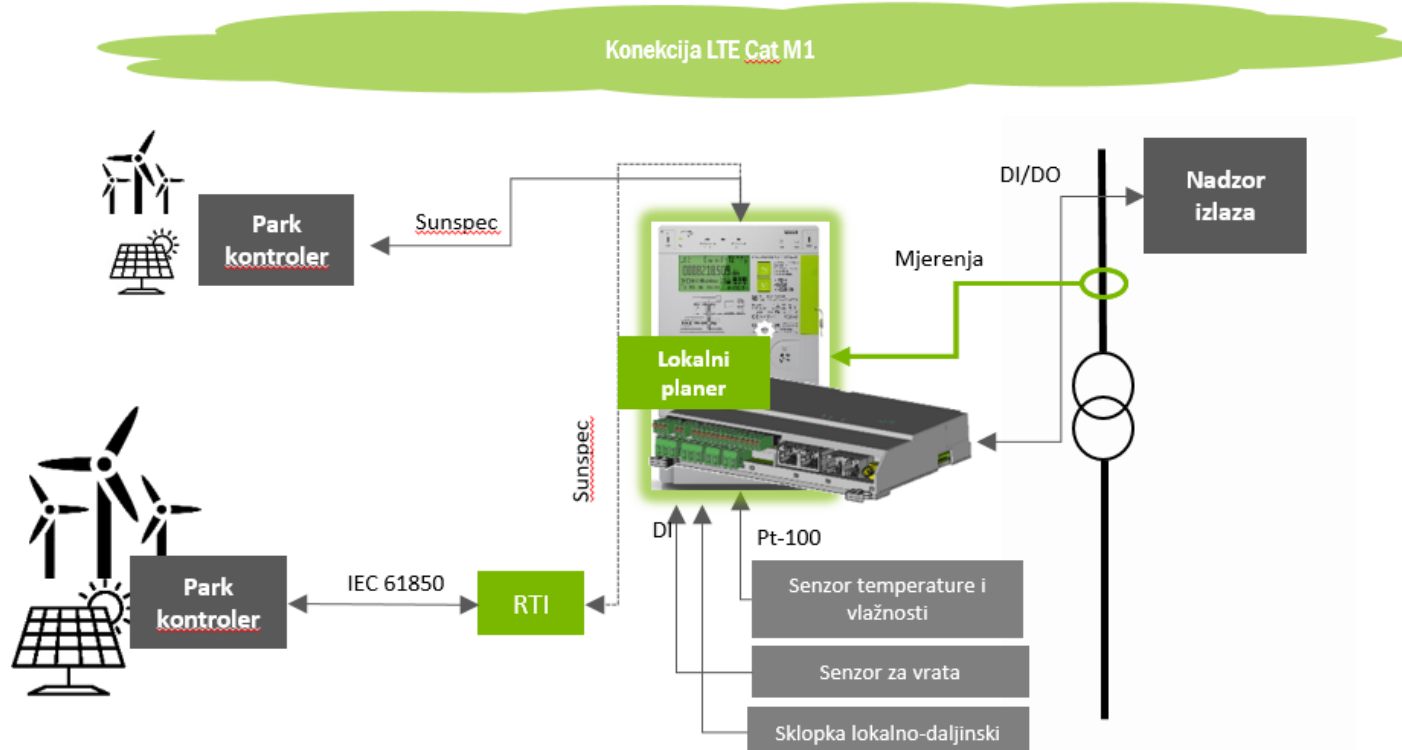
Napredno brojilo u naprednoj mreži



Fleksibilnost na SN mreži
 – primjer upravljanja OIE
 – središnja i rubna regulacija

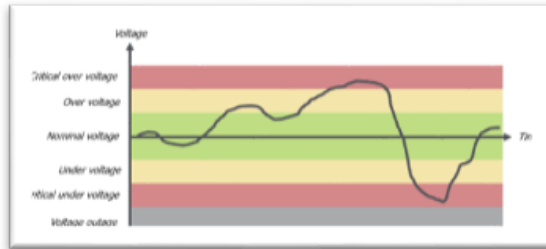
- RT mjerenja, nadzor i upravljanje mrežom
- Izravna veza sa SCADA
- Komunikacija sa park kontrolerima
- DERMS podrška i lokalni planer
- Integracija različitih senzora

Izvor: Prezentacija DER Management, Landis+Gyr



Rubna inteligencija: Algoritam kontrole napona (Voltage Control Algorithm)

1 Redosljed uključivanja



2 Praćenje napona

- Algoritam prima informacije od brojila, povezan s DLMS/COSEM klijentom i poduzima različite radnje ovisno o usporedbi izmjerenih napona s konfiguriranim pragovima.
- Radnje se poduzimaju s podesivim vremenskim odgodama

3 Regulacija napona

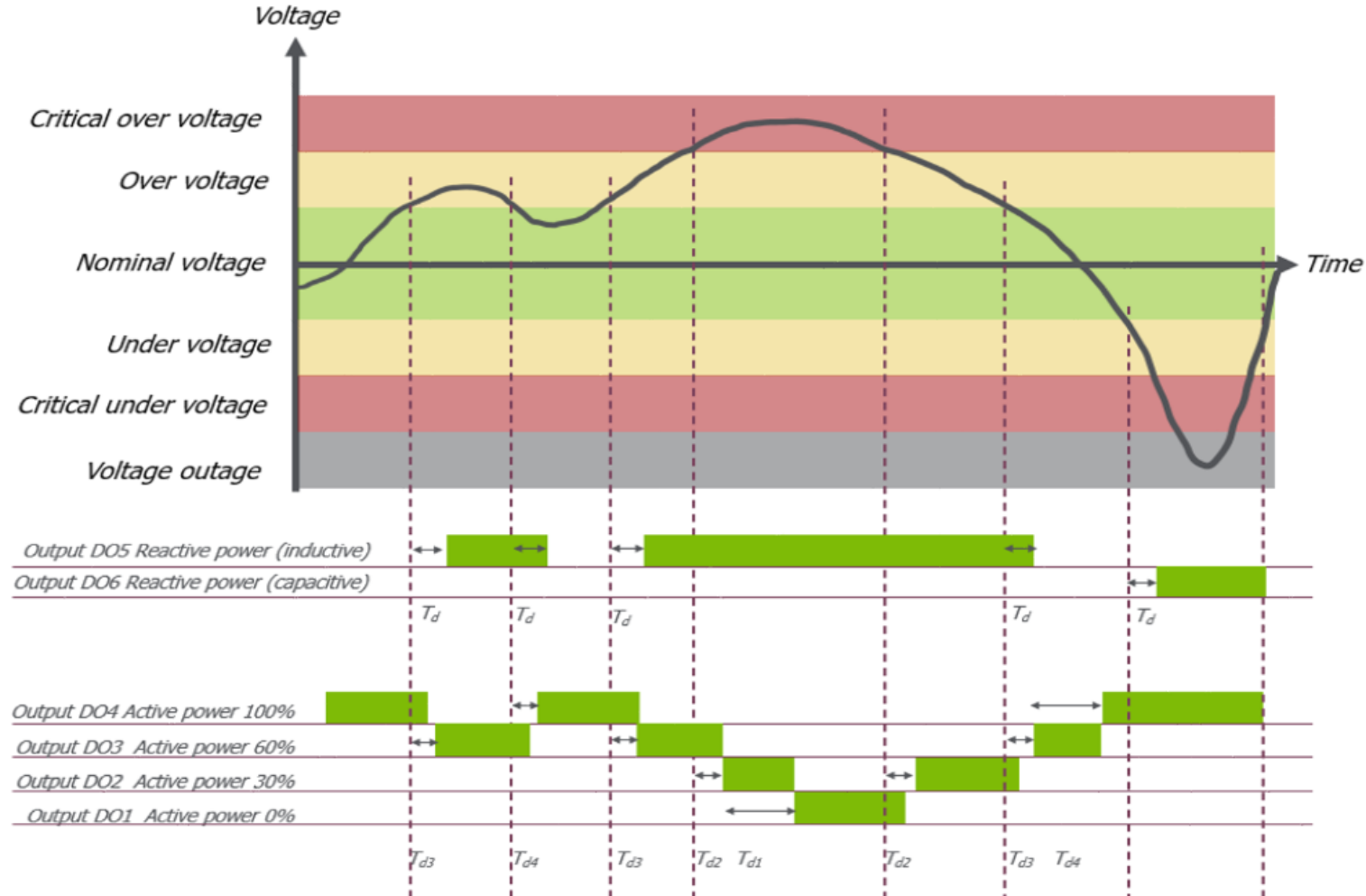
- Algoritam radi u četiri moda:
 - Nadzor radne energije
 - Nadzor jalove energije
 - Kombinirani nadzor radne/jalove energije
 - Ručni nadzor energije

Raspon	Status napona	Raspon podešavanja	Zadano
Kritičan prenapon	Gornja crvena	$V_n + 0\% \dots + 40\%$ (koraci 1% od nominalnog V_n)	+15%
Prenapon	Gornja žuta	$V_n + 0\% \dots + 20\%$ (u koracima od 1% od V_n)	+10%
Normalan napon	Zelena		$V_n = 230 \text{ V}$
Nominalni napon V_n		58...240V	
Normalan napon	Zelena		
Podnapon	Donja žuta	$V_n - 0\% \dots - 20\%$ (u koracima od 1% od V_n)	-10%
Kritičan podnapon	Donja crvena	$V_n - 0\% \dots - 40\%$ (koraci 1% od nominalnog V_n)	-15%
Ispad napona	Crna	$V_{\text{nestanka snage}} = 50\% \dots 90\% * V_n$	50% V_n

AKTIVNI KUPAC U NAPREDNOJ MREŽI

Napredno brojilo u naprednoj mreži

Rubna inteligencija: Algoritam kontrole napona (Voltage Control Algorithm)



Izvor: Prezentacija DER Management, Landis+Gyr

ZAKLJUČAK

- Napredno brojilo je izvor izmjerenih podataka i zapisa o događajima
- Naprednije brojilo je rubno računalo koje omogućuje fleksibilnost
- Naprednije brojilo ima ulogu posrednika za podršku fleksibilnosti prijenosom tržišnih signala ili signala stanja iz napredne mreže i sklopovlja kod aktivnog kupca (HEMS ili BEMS) te obrnuto
- Procesiranje potrebnih algoritama je dijelom u oblaku dijelom u brojilu
- Potrebno je žurno formirati okruženje za podršku fleksibilnosti pomoću AMI 2.0 i platformi sa povezanim E-MDMS, ADMS i DERMS
- Izvedba fleksibilnosti kod aktivnog kupca je u ovlasti kupca
- Primjena referentnog modela iz Provedbene uredbe EK 2023/1162

LITERATURA

- Assessment and roadmap for the digital transformation of the energy sector towards an innovative internal energy market, Final Report, European Commission, October 2019.
- Market Guide for Advanced Distribution, Gartner, 8 April 2024 - ID G00780678
- Market Guide for Meter Data Management Systems, Gartner, 11 November 2024 - ID G00786652
- Market Guide for DERMS, Gartner, 28 November 2023 - ID G00775999
- Bright, Deliverable D5.5 - Services for energy driven smart homes, Ref. Ares(2023)2977210 - 27/04/2023
- Prezentacija Grid flexibility active load control, Iskraemeco
- Prezentacija Manage Grids Better, Landis+Gyr