

Pametno obračunsko mjerenje

Zor, Franjo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:007103>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-27**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH
TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

Pametno obračunsko mjerenje

Završni rad

Franjo Zor

Osijek, 2023

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 16.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Franjo Zor
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. Pristupnika, godina	A 4112, 27.09.2020.
OIB Pristupnika:	56137894800
Mentor:	mr. sc. Dražen Dorić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	dr. sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva 1:	mr. sc. Dražen Dorić
Član Povjerenstva 2:	Doc. dr. sc. Venco Ćorluka
Naslov završnog rada:	Pametno obračunsko mjerenje
Znanstvena grana završnog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	16.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 07.10.2023.

Ime i prezime studenta:

Franjo Zor

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4112, 27.09.2020.

Turnitin podudaranje [%]:

4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pametno obračunsko mjerenje**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Dražen Dorić

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OBRAČUNSKA BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE	2
2.1. Elektromehanička brojila.....	4
2.2. Elektronička brojila	5
2.3. Načini naplate u tradicionalnom obračunskom sustavu električne energije.....	7
2.3.1. Sustav plaćanja isporučene električne energije putem bonova.....	7
2.3.2. Sustav s naknadnom naplatom isporučene električne energije.....	8
3. PAMETNI OBRAČUNSKI SUSTAVI	9
3.1. Arhitektura pametnih obračunskih sustava.....	9
3.1.1. <i>Middleware</i>	10
3.1.2. Integracija sustava.....	10
3.1.3. WAN i LAN.....	10
3.1.4. Kućni mjerni pristupnici	11
3.1.5. HAN.....	12
3.1.6. Korisnički zaslon	12
3.2. Komunikacija u pametnim obračunskim sustavima.....	13
3.2.1. PLC (engl. <i>Power Line Carrier</i>).....	13
3.2.2. RF tehnologija male snage.....	13
3.2.3. Mobilna tehnologija	15
3.2.4. Širokopojasni pristup internetu	15
3.3. Primjer implementacije pametnog obračunskog sustava u postojeći EES	15
4. ISPLATIVOST PAMETNOG OBRAČUNSKOG SUSTAVA	18
4.1. Troškovi implementacije pametnog obračunskog sustava	18
4.2. Koristi implementacije pametnog obračunskog sustava	20
4.2.1. Dnevni dijagram opterećenja	21
4.3. Isplativost implementacije pametnog obračunskog sustava.....	23
5. PRIMJENA PAMETNIH OBRAČUNSKIH SUSTAVA	24
5.1. Primjena u Europi.....	25
5.2. Primjena u Republici Hrvatskoj	26
5.3. Primjena u svijetu	28

5.3.1. Sjeverna Amerika.....	28
5.3.2. Latinska Amerika.....	29
5.3.3. Afrika.....	30
5.3.4. Azija i Oceanija.....	31
ZAKLJUČAK.....	32
LITERATURA	33
SAŽETAK.....	36
ABSTRACT	36
ŽIVOTOPIS.....	37

1. UVOD

Od samih početaka prijenosa i distribucije električne energije u 19. stoljeću, praćenje potrošnje energije predstavlja bitan dio cjelokupnog elektroenergetskog sustava (EES). Na temelju izmjerenih podataka korisnicima se naplaćuje isporučena električna energija, a distributeri imaju uvid u cjelokupno opterećenje EES-a te na osnovu toga mogu planirati daljnji razvoj prijenosne i distributivne mreže. Trenutni trend automatizacije zahvatio je i proces obračunskog mjerenja te se zadaci prikupljanja i obrade podataka dodjeljuju automatiziranim sustavima.

Zadatak ovog završnog rada je proučiti i opisati tehničke komponente sustava pametnog obračunskog mjerenja, analizirati moguće uštede kao i ostale učinke koje takav sustav može polučiti, te odabrati ilustrativan primjer realizacije.

Opisane su značajke, uvjeti za ovjeravanje i princip rada elektromehaničkih i elektroničkih brojila električne energije. Objašnjeni su glavni nedostaci metoda naplate u tradicionalnom energetsom mjernom sustavu.

Arhitektura pametnog obračunskog sustava je podijeljena po slojevima koji su pojedinačno opisani. Prikazane su komunikacijske tehnologije u primjeni s naglaskom na najpopularnije tehnologije. Glavni elementi EES-a i pametnog obračunskog sustava objedinjeni su u ilustrativnom primjeru realizacije te su opisane njihove uloge i metode komunikacije.

Na temelju dostupnih podataka o implementaciji pametnih obračunskih sustava u Europi izvršena je analiza troškova i koristi implementacije te je izvučen zaključak o isplativosti takvih sustava.

Opisani su globalni trendovi implementacije pametnih obračunskih sustava i planovi za buduća ulaganja s naglaskom na Europsku Uniju i Republiku Hrvatsku.

2. OBRAČUNSKA BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE


Električno brojilo je uređaj koji služi za mjerenje isporučene električne energije korisniku. U primjeni je više vrsta brojila čije značajke ovise o zadacima koje obavljaju, a osnovne podjele su po sljedećim značajkama:

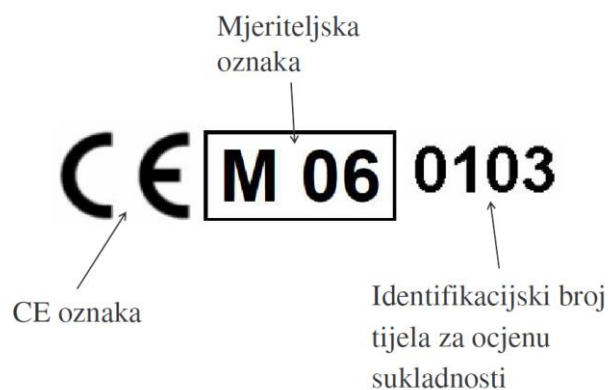
- Tehnologija mjerenja: elektromehaničko (indukcijsko), elektroničko (statičko) i hibridno brojilo (elektroničko brojilo s analognim brojčanikom)
- Broj faza: jednofazno (2-žično) i trofazno (3-žično ili 4-žično)
- Mjerena energija: brojilo djelatne energije i brojilo jalove energije
- Smjer mjerenja: jednosmjerno brojilo koje mjeri samo energiju predanu korisniku i dvosmjerno koje ima i mogućnost mjerenja primljene energije od korisnikovih izvora kao što su fotonaponske elektrane ili jalova trošila
- Način priključka: izravno, poluizravno (spojeno preko strujnog transformatora) i neizravno (spojeno preko strujnog i naponskog transformatora)
- Broj tarifa: jednotarifno i višetarifno (najčešće dvije tarife)
- Razred točnosti: A, B, C, 0.2S, 0.5S, 1 i 2 za brojila djelatne energije te 1, 2 i 3 za brojila jalove energije

Za utvrđivanje točnosti brojila vrše se redovna i izvanredna ovjeravanja. Prvo ovjeravanje najčešće obavlja proizvođač, a naredna ovjeravanja u Republici Hrvatskoj odrađuju Službe mjeriteljskih poslova i pravna tijela ovlaštena za ovjeravanje. Državni zavod za mjeriteljstvo Republike Hrvatske (DZM) određuje ovjerna razdoblja te daje ovlasti za ovjeravanja pravnim tijelima koja zadovoljavaju uvijete. Ovjerno razdoblje za izravno spojena elektronička brojila je 12 godina, a za elektromehanička je 16 godina. Ukoliko se mjerna točnost brojila metodom slučajnih uzoraka utvrdi prije isteka ovjernog razdoblja, isto se može produžiti za 4 godine. Ovjerno razdoblje za sva neizravno spojena brojila je 8 godina. Ovjeravanje brojila u Republici Hrvatskoj provodi se po napatku o ispitivanju električnih brojila donesenom od strane DZM-a [1].

Postupak ispitivanja brojila sastoji se od ispitivanja izolacije, zagrijavanja brojila, ispitivanja praznog hoda, ispitivanja polaska brojila, ispitivanja točnosti brojila, provjere stalnice brojila, kontrole ispravnosti registracije brojila te ispitivanja dodatnih naprava brojila. Uz navedena ispitivanja, za uspješnu ovjeru bitno je i da su na natpisnoj ploči brojila prikazani sljedeći podaci:

- Ime i naziv ili znak proizvođača te mjesto proizvodnje

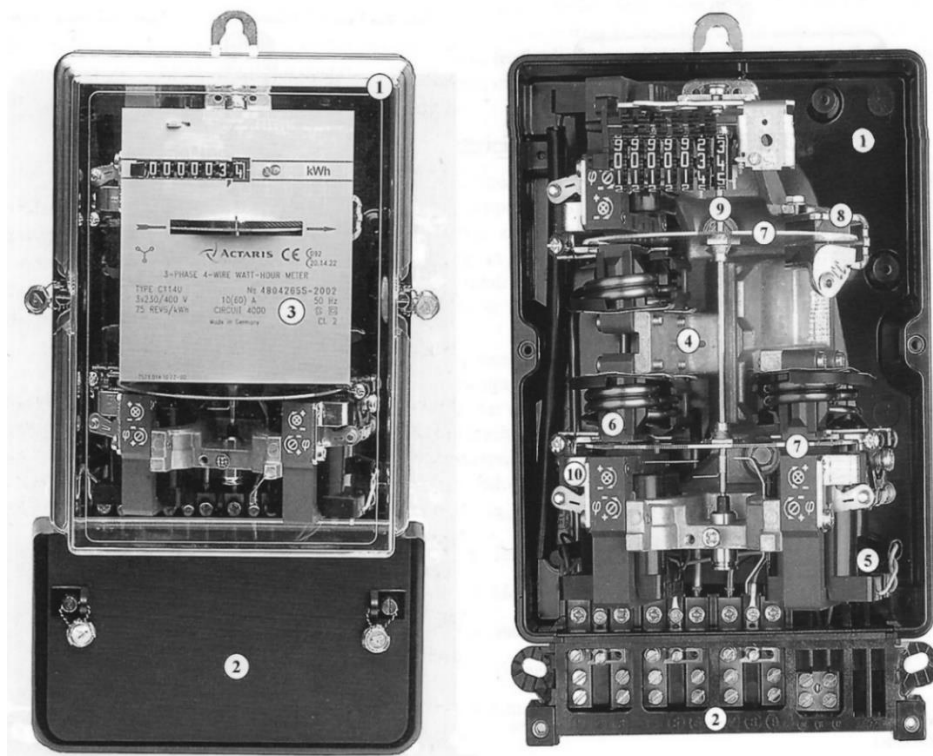
- Tvornička oznaka tipa brojila
- Vrsta brojila
- Serijski broj i godina proizvodnje
- Referentni napon u voltima ili kilovoltima
- Podaci o osnovnoj i najvećoj jakosti struje u amperima
- Referentna frekvencija u hertzima
- Stalnica brojila u broju impulsa po kilowatt-satu
- Razred točnosti
- Službena oznaka tipa brojila
- Mjerna jedinica
- Znak „“ za brojila s izolacijskim kućištem razreda zaštite II
- Shema spajanja ili broj sheme spajanja
- Natpis „Suprotno registriranje spriječeno“ za brojila s napravom za sprječavanje suprotnog registriranja
- Označene sve stezaljke prema standardnoj shemi spoja
- Natpis „Transformatorsko brojilo“ za brojilo za priključak preko mjernog transformatora
- Europska „CE“ oznaka sukladnosti mjerila [2] (Slika 2.1.)



Slika 2.1. Primjer europske oznake o sukladnosti mjerila [3]

2.1. Elektromehanička brojila

Elektromehanička brojila rade na principu elektromagnetske indukcije. Brojilo sadrži naponsku i strujnu zavojnicu. Naponska zavojnica je spojena paralelno s kućnim instalacijama, a strujna serijski. U obje zavojnice se prilikom protjecanja struje pojavljuje elektromagnetsko polje koje zakreće aluminijski disk. Što su struje kroz zavojnice veće, to je i elektromagnetsko polje jače pa se disk brže okreće. Disk je preko osovine i zupčanika mehanički spojen na brojčanik koji prikazuje električnu energiju predanu korisniku. Slika 2.2. prikazuje glavne komponente elektromehaničkog brojila električne energije.



Slika 2.2. Prikaz komponentata elektromehaničkog brojila [4]

Glavne komponente elektromehaničkih brojila:

1. Kućište i poklopac
2. Priključnice
3. Natpisna ploča
4. Stator
5. Naponski mjerni sklop
6. Strujni mjerni sklop
7. Rotor s diskom
8. Magnetska kočnica
9. Osovina spojena s brojčanikom
10. Kalibracijski sklop

Unatoč nazivu, brojila električne energije ne vrše izravno mjerenje električne energije, nego izvršavaju funkciju množitelja drugih električnih veličina te električna energija predstavlja produkt tih veličina. Električna energija predstavlja snagu u vremenu:

$$W = P \times t \quad (2-1)$$

gdje je:

- W – električna energija,
- P – djelatna snaga,
- t – vrijeme.

Djelatna snaga se računa prema sljedećem izrazu:

$$P = U \times I \times \cos\varphi \quad (2-2)$$

gdje je:

- U – napon
- I – jakost električne struje
- $\cos\varphi$ – faktor snage – kosinus faznog pomaka između struje i napona.

Uvrštenjem veličina za izračun snage u jednadžbu za izračun energije dobije se sljedeći izraz:

$$W = U \times I \times \cos\varphi \times t \quad (2-3)$$

Navedena jednadžba kao produkt ima vrijednost djelatne električne energije u watt-satima (Wh).

Za izračun jalove električne energije koristi se sljedeći izraz:

$$W_r = U \times I \times \sin\varphi \times t \quad (2-4)$$

gdje je:

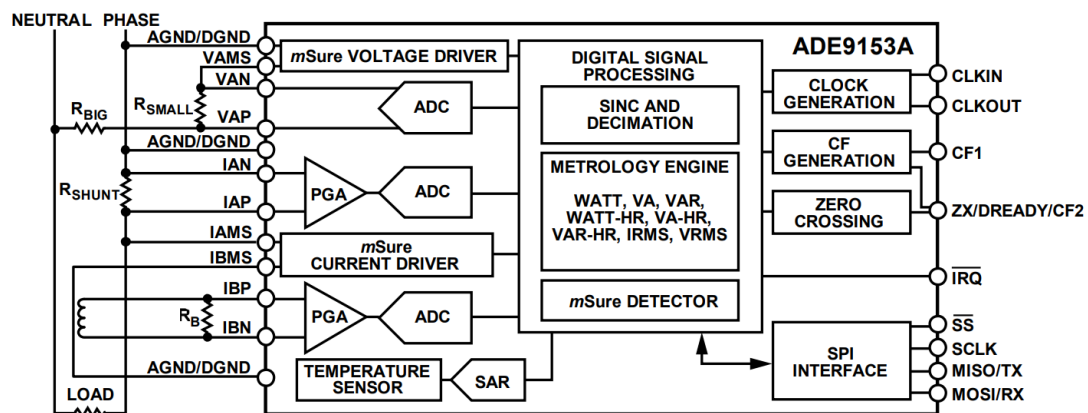
- W_r – jalova (reaktivna) električna energija
- $\sin\varphi$ – sinus faznog pomaka između struje i napona

Jalova električna energija se mjeri u volt-amper-reaktivnim-satima (VARh).

2.2. Elektronička brojila

Zahvaljujući otkriću poluvodiča sredinom prošlog stoljeća, elektronički uređaji su dimenzijama sve manji, a mogućnostima sve bogatiji. Isti trend se preslikao i na tržištu obračunskih brojila. Princip rada elektroničkih brojila sličan je kao i kod elektromehaničkih. Brojčanik i osovinu su zamijenili ekrani s tekućim kristalima, a zavojnice su zamijenjene naprednim i preciznim integriranim sklopovima za mjerenje struje i napona. Primjer jednog takvog sklopa je model ADE9153A proizvođača Analog Devices Inc. U kućištu dimenzija $5 \times 5 \times 0.75$ mm integrirani su moduli za mjerenja struje, napona i faktora snage, analogno digitalni

pretvornici, modul za obradu signala, temperaturni senzor, SPI (engl. *Serial Peripheral Interface*) sučelje za komunikaciju, generator takta, mSure[®] modul za automatsku kalibraciju te senzor preklapanja u nuli. Slika 2.3. prikazuje primjer spajanja tog uređaja na električnu mrežu.



Slika 2.3. Primjer spajanja ADE9153A sklopa [5]

Priključnice VAP i VAN služe za mjerenje napona. S obzirom da su dozvoljene vrijednosti napona na tim priključnicama 0.1V – 1.7V, napon gradske mreže je potrebno smanjiti putem otpornog dijelila koje je prikazano oznakama R_{BIG} i R_{SMALL} . Zbog velikog otpora, R_{BIG} ujedno i ograničava struju koja se preuzima iz električne mreže te osigurava minimalan utjecaj cijelog sklopa u ukupno isporučenoj električnoj energiji.

Mjerenje jakosti struje moguće je ostvariti na dva načina. Prvi način je putem strujnog transformatora koji se spaja na priključnice IBP i IBN. Strujni transformator je smješten u neposrednoj blizini faznog vodiča kroz koji se protjecanjem struje stvara magnetsko polje koje na strujnom transformatoru inducira napon. Induciranim naponom kroz otpornik R_B poteče struja te se pad napona na tom otporniku mjeri na priključnicama IBP i IBN. Izmjerena vrijednost napona se koristi za izračun jakosti struje u faznom vodiču.

Drugi način je preko *shunt* otpornika koji je na faznom vodiču spojen serijski s trošilima. *Shunt* je otpornik vrlo malog otpora kroz koji može teći struja velikog iznosa. Prolaskom struje kroz *shunt*, na njemu dolazi do pada napona koji se mjeri na priključnicama IAP i IAN. Poznavanjem vrijednosti otpora i pada napona na *shunt* otporniku, jakost struje u faznom vodiču može se izračunati prema sljedećem izrazu:

$$I_f = \frac{U_{SHUNT}}{R_{SHUNT}} \quad (2-5)$$

gdje je:

- I_f – jakost struje kroz fazni vodič
- U_{SHUNT} – izmjereni pad napona na *shunt* otporniku
- R_{SHUNT} – otpor *shunt* otpornika

2.3. Načini naplate u tradicionalnom obračunskom sustavu električne energije

S obzirom na potrebe, korisnik može birati između 2 načina naplate za isporučenu električnu energiju; plaćanje unaprijed i naknadno plaćanje. Princip je sličan kao i kod mobilnih telefonskih operatera koji nude tzv. *prepaid* i *postpaid* tarife.

2.3.1. Sustav plaćanja isporučene električne energije putem bonova

Kod sustava s plaćanjem unaprijed, korisnik na prodajnim mjestima može kupiti bonove koje će preko tipkovnice unijeti u uređaj, ili kupiti karticu s unaprijed definiranim iznosom sredstava te istu umetnuti u uređaj (Slika 2.4.).



Slika 2.4. Obračunsko brojilo s mogućnošću unosa *prepaid* bonova [6]

Prilikom kupnje bona, korisnik dobije kriptirani višeznamenasti brojevi kod koji putem tipkovnice unosi u brojilo. Tada se u brojilu odvija dekripcija koda te se količina dostupnih sredstava uvećava za vrijednost kupljenog bona. Nakon potrošenih sredstava brojilo šalje signal glavnoj sklopki za iskapčanje te se prekida opskrba električnom energijom do sljedećeg unosa bona.

Na tržištu postoje i brojila s tzv. pametnim karticama. Njihova posebnost je da prate potrošnju energije u stvarnom vremenu i na karticu spremaju podatke o potrošnji. Prilikom nadopune kartice sredstvima, s kartice se skidaju uneseni podaci te se šalju u distributerovu bazu

podataka. Distributer te podatke koristi za bolje razumijevanje korisničkih navika potrošnje električne energije.

2.3.2. Sustav s naknadnom naplatom isporučene električne energije

Kod sustava s naknadnom naplatom isporučene električne energije korisnik plaća račune za električnu energiju koja mu je isporučena u prethodnom mjesecu. Dva su načina za određivanje količine isporučene električne energije u Republici Hrvatskoj:

- Samoočitavanje – korisnik na kraju svakog mjeseca distributeru dostavlja stanje brojila te mu se na temelju toga ispostavlja račun.
- Mjesečne novčane obveze (akontacije) – Distributer svakih 5 mjeseci vrši očitavanje brojila kod korisnika. Na temelju ukupne potrošnje u prethodnom periodu, pretpostavlja se potrošnja u narednih 5 mjeseci te se korisniku ispostavljaju računi za taj period.

Nijedan od ta 2 načina nije idealan te stvara dodatne troškove korisnicima i distributerima.

Kod samoočitavanja korisnik se obvezuje jednom mjesečno dostaviti stanje brojila, stoga distributer mora imati aktivan sustav za prikupljanje podataka. Dostava podataka se vrši putem web obrasca ili govornog automata, ali se povremeno u praksi zbog tehničkih poteškoća ili korisničke pogreške dostava stanja brojila ne može odraditi na taj način, te je potrebna komunikacija između korisnika i djelatnika korisničke službe. Korisnicima to oduzima vrijeme, a distributerima stvara dodatne troškove u vidu održavanja sustava za dostavu stanja i povećane količine poziva korisničkoj službi. Ujedno distributer mora periodički vršiti očitavanje brojila kako bi se uskladili podaci dobiveni od korisnika sa stvarnim stanjem.

Kod plaćanja putem mjesečnih akontacija korisnik plaća pretpostavljenu količinu isporučene električne energije koja često odstupa od stvarnih vrijednosti. Primjerice, ako korisnik tijekom ljetnih mjeseci u stambenom objektu ugradi klima uređaj, količina isporučene energije će mu u narednom periodu porasti te će nakon sljedećeg očitavanja brojila morati platiti razliku između naplaćene i stvarne količine isporučene energije. Takav način naplate ne odgovara korisnicima, a ni operaterima koji će razliku u isporučenoj energiji naplatiti mjesecima nakon isporuke.

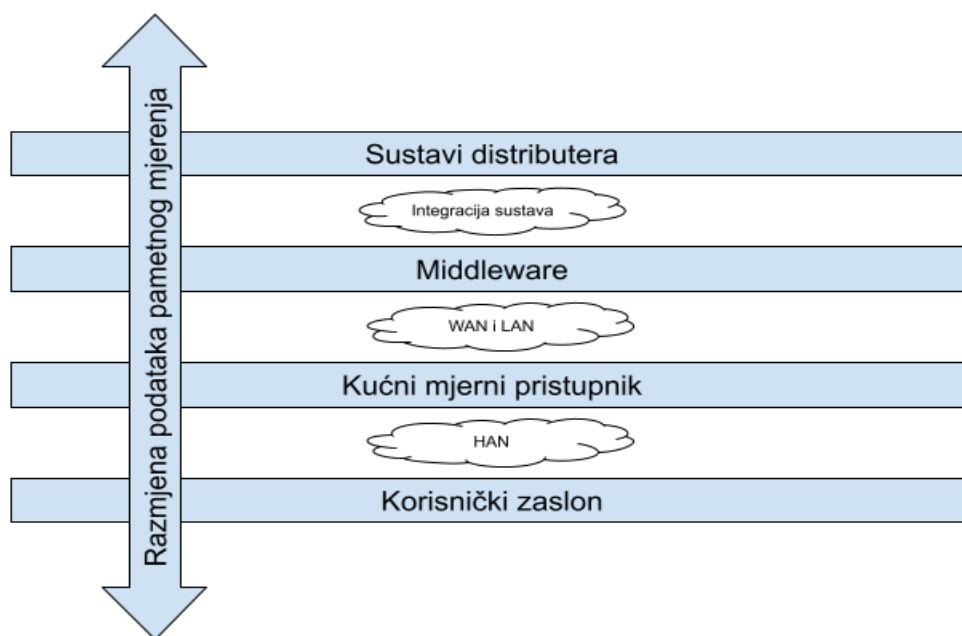
Kada bi se na kraju svakog mjeseca distributeru potpuno automatski dostavljali podaci o potrošnji, izbjegle bi se te poteškoće. Jedna od svrha postojanja pametnih obračunskih brojila je rješavanje tih problema.

3. PAMETNI OBRAČUNSKI SUSTAVI

Pametno obračunsko mjerenje se u praksi koristi već neko vrijeme. Kako je tehnologija napredovala, tako su i mjerni sustavi postajali „pametniji“ i proširivali svoje mogućnosti. Prva metoda prikupljanja podataka u pametnim mjernim sustavima je automatsko očitavanje brojila – AMR (engl. *Automatic Meter Reading*). Ta metoda je omogućila daljinsko očitavanje potrošnje i praćenje podataka potrošnje te predstavlja veliki napredak u odnosu na tradicionalne načine praćenja potrošnje. Komunikacija je jednosmjerna, tj. podaci se šalju isključivo od brojila prema distributeru. Sljedeći korak u razvoju pametnih mjernih sustava predstavlja automatsko upravljanje brojlilima – AMM (engl. *Automatic Meter Management*). Ovdje je komunikacija dvosmjerna. Uz sve prednosti AMR sustava, ova metoda donosi i dodatne mogućnosti upravljanja brojlilima, uslugama i uređajima spojenih u pametnu obračunsku mrežu. Najnoviji trend u pametnim mjernim sustavima je napredna mjerna infrastruktura – AMI (engl. *Advanced Metering Infrastructure*). Sve funkcije AMR i AMM sustava su zadržane uz dodatne mogućnosti kao što su interoperabilnost, zaštita podataka, skalabilnost i dr.

3.1. Arhitektura pametnih obračunskih sustava

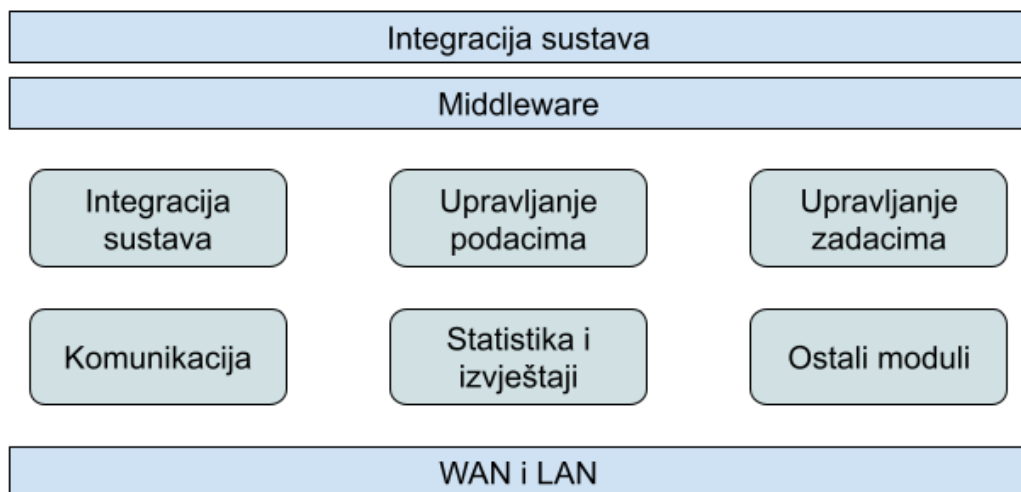
Kako je svako tržište posebno, i ima svoje zahtjeve, tako su i elementi arhitektura pametnih obračunskih sustava različiti. U osnovi su arhitekture dosta slične, i sastoje se od više slojeva (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Arhitektura pametnog obračunskog sustava

3.1.1. Middleware

Middleware je sustav programa i baza podataka. Njegova uloga je upravljanje pametnim mjernim uređajima, podacima i funkcionalnostima sustava, te služi kao sučelje između pametnih brojlara i upravljačkih aplikacija distributera. Sastoji se od više modula (Slika 3.2.) koji izvršavaju svoje zadatke te komuniciraju međusobno i s drugim elementima pametnog mjernog sustava.



Slika 3.2. Moduli u *middleware*-u

3.1.2. Integracija sustava

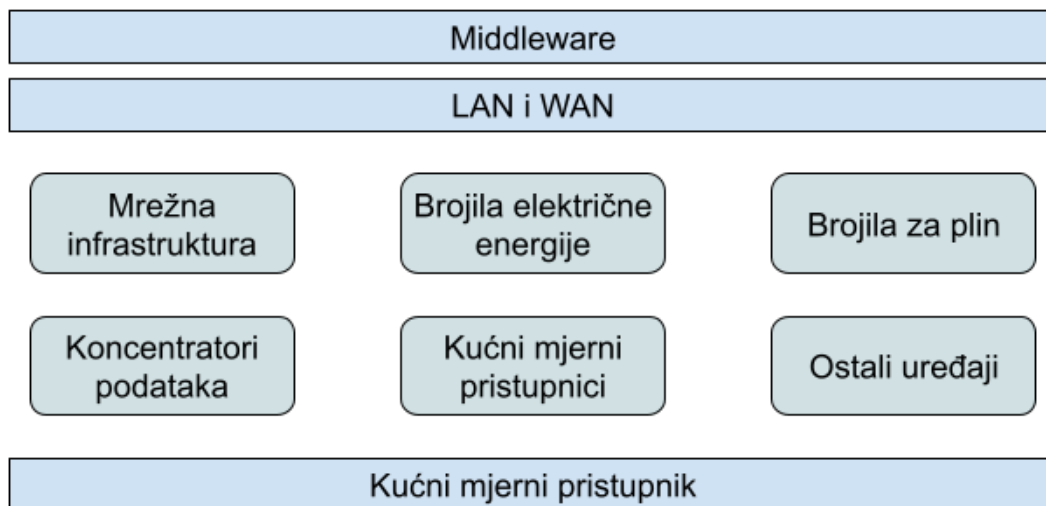
Interoperabilnost s ostalim IT sustavima je neophodna u pametnim mjernim sustavima, a postiže se putem integracijskog modula u *middleware*-u. Integracija se provodi s vanjskim i unutarnjim sustavima kao što su SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Aquisition*), CRM (engl. *Customer Relationship Management*), sustavi održavanja, naplate, energetske efikasnosti i ostali. Cilj integracije je omogućiti međusobnu razmjenu podataka s *middleware*-om.

3.1.3. WAN i LAN

WAN (engl. *Wide Area Network*) – mreža širokog područja služi za interakciju *middleware*-a i njemu pridruženih uređaja te predstavlja prvi sloj komunikacije između *middleware*-a i mjernog sustava. U praksi se najčešće provodi putem mobilnih mreža, širokopojasnog interneta te PLC komunikacije na srednjem naponu. WAN veza se može nalaziti na četiri mjesta u mreži:

- Ugrađeni WAN uređaji – WAN uređaj je integriran u kućnom mjernom pristupniku koji omogućuje direktnu WAN vezu uređajima kao što su pametno brojilo te korisnički zaslon
- Koncentratori podataka – Uređaji za prikupljanje podataka s više pametnih brojlara putem širokopojasne PLC tehnologije
- *Head-end* uređaji – Uređaji koji se nalaze na početku i na kraju uskopojasne PLC mreže
- Kućni modem – Korisnikov uređaj koji je spojen na internet putem telekomunikacijske mreže

LAN (engl. *Local Area Network*) – lokalna mreža se koristi kada se uređaji ne mogu spojiti direktno na mrežu širokog područja pa se za spajanje u WAN koriste koncentratori podataka ili *head-end* uređaji. Slika 3.3. prikazuje primjere uređaja koji se nalaze u LAN i WAN sloju arhitekture.



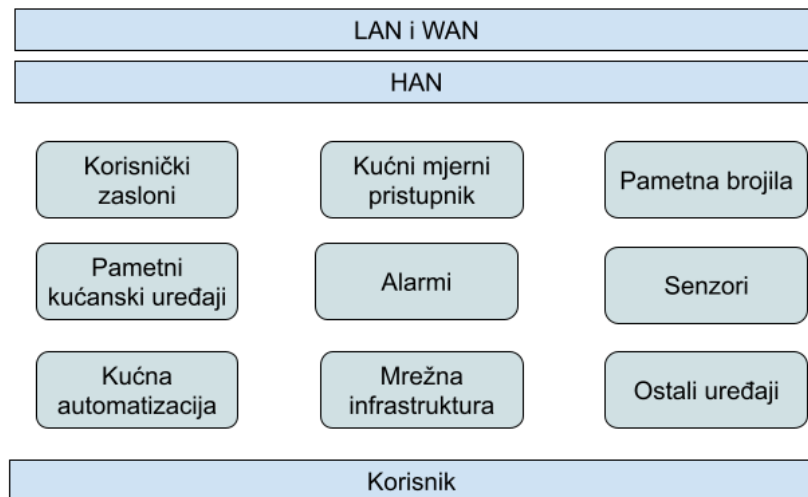
Slika 3.3. Uređaji spojeni na WAN i LAN

3.1.4. Kućni mjerni pristupnici

Uloga kućnih mjernih pristupnika je povezivanje uređaja u HAN sloju s WAN i LAN slojevima. Zadaci koje izvršava su slični kao kod *middleware*-a, integracija sustava, prikupljanje podataka, upravljanje zadacima, komunikacija i drugi. Može biti integriran u pametno brojilo ili spojen kao zaseban modul, a ovisno o komunikacijskim tehnologijama koje koristi, može biti spojen na LAN ili WAN.

3.1.5. HAN

HAN (engl. *Home Area Network*) – mreža kućnog područja objedinjuje sve mrežne uređaje koji se nalaze kod korisnika. Uz pametno brojilo i kućni mjerni pristupnik, na HAN se mogu spajati i uređaji poput pametnih trošila, pametnih utičnica, senzora, alarma, korisničkih zaslona i ostalih (Slika 3.4.) te je stoga izuzetno bitna interoperabilnost i integracija koja se izvršava u kućnom mjernom pristupniku.



Slika 3.4. Uređaji spojeni na HAN

3.1.6. Korisnički zaslon

Uloga korisničkog zaslona je interakcija korisnika s elementima pametne mreže kao što su sustav naplate, CRM, pametni kućanski uređaji i slično. Može biti zaseban uređaj (Slika 3.5.), ili preko kućne mreže spojen na neki korisnikov uređaj s ekranom (televizor, mobitel, ekran sustava kućne automatizacije i sl.). Također može biti izveden kao web sučelje za prikaz podataka na korisnikovom računalu ili pametnom mobitelu.



Slika 3.5. Primjer korisničkog zaslona za prikaz informacija o isporučenoj energiji [7]

3.2. Komunikacija u pametnim obračunskim sustavima

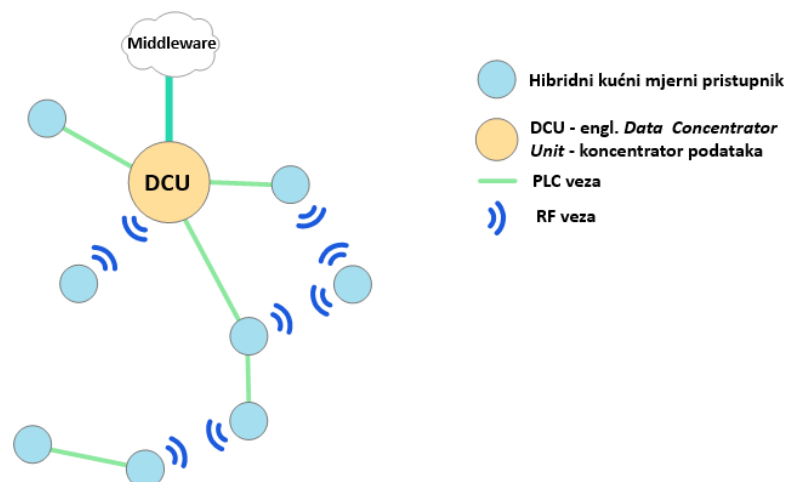
Ključan dio u sustavima pametnog obračunskog mjerenja predstavlja međusobna komunikacija uređaja tog sustava. Ne postoji univerzalno idealna mrežna tehnologija, te se u praksi u sustavima istovremeno koristi više različitih tehnologija za prijenos podataka.

3.2.1. PLC (engl. *Power Line Carrier*)

PLC tehnologija koristi postojeće električne vodove za prijenos podataka. Putem PLC modema se na nosivu frekvenciju od 50/60Hz modulira signal visoke frekvencije (mjeri se u kHz ili MHz) te se preko distribucijske mreže prenosi na koncentrator podataka. Zbog nemogućnosti prijenosa signala preko transformatora, koncentrator podataka se najčešće postavlja u trafostanicu te se daljnji prijenos podataka vrši nekom drugom tehnologijom. S obzirom da distributivnim vodovima primarna namjena nije prijenos podataka, u mreži se pojavljuju smetnje koje smanjuju kvalitetu prijenosa podataka, stoga je maksimalna duljina voda između modulatora i koncentratora podataka ograničena na nekoliko kilometara.

3.2.2. RF tehnologija male snage

Promet podataka se ostvaruje bežičnim prijenosom na ultra visokim frekvencijama unutar ISM (engl. *industrial, scientific and medical*) frekvencijskog pojasa. U Europskoj Uniji se koriste frekvencije od 433MHz te 863-870MHz. Zbog visoke frekvencije signala, domet je puno veći nego kod PLC tehnologije, ali uvelike ovisi o preprekama između odašiljača i prijemnika. Ovakav način komunikacije se često koristi u kombinaciji s PLC tehnologijom (Slika 3.6.).



Slika 3.6. Primjer hibridnog PLC – RF sustava za komunikaciju

Istovremenim korištenjem tih dviju tehnologija postiže se veća pokrivenost te se smanjuje količina grešaka u prijenosu podataka.

Popularizacijom pametnih mreža, gradova i IoT (engl. *Internet of Things*) uređaja pojavila se potreba za razvojem komunikacijske tehnologije koja bi uz nisku potrošnju električne energije omogućavala povezivanje velikog broja uređaja. Na tržištu je trenutno dostupno više komercijalnih rješenja baziranih na RF tehnologiji male snage kao što su:

- Sigfox 0G
- LoRaWAN
- NB-IoT

Sigfox 0G tehnologija je LPWA (engl. *Low-Power Wide-Area*) mrežni protokol male snage širokog pristupa u vlasništvu UnaBiz pružatelja telekomunikacijskih usluga iz Singapura [8]. Mreža je bazirana na zvjezdastoj topologiji koja podrazumijeva spajanje uređaja putem centralne bazne stanice, a komunikacija se vrši na ISM frekvencijskom pojasu. Razvoj i održavanje mreže u domeni je partnerskih mrežnih operatera, a u Republici Hrvatskoj za to je zaduženo poduzeće CompING d.o.o. Prema podacima iz 2023. godine pokrivena je gotovo cijela Europa, uz djelomičnu pokrivenost manjih regija na ostalim kontinentima. Planovi za budućnost su proširenje pokrivenosti na Sjevernoj i Južnoj Americi, Australiji i Oceaniji, Bliskom Istoku te pojedinim afričkim zemljama.

LoRaWAN je tehnologija dugog dometa razvijena od strane Cycleo poduzeća iz Francuske [9]. Putem proširene zvjezdaste topologije (engl. *Star-of-Stars*) uređaji se preko ISM frekvencijskog pojasa spajaju na bazne stanice koje su preko centralne bazne stanice spojene u zvjezdastoj topologiji. U LoRa Alliance savez uključen je 181 operater diljem svijeta, a u Republici Hrvatskoj Odašiljači i Veze d.o.o. pružaju uslugu putem Smartino IoT platforme.

NB-IoT (engl. *Narrowband Internet of Things*) je LPWAN standard razvijen od strane 3GPP konzorcija u koji je uključeno 7 nacionalnih i regionalnih organizacija za standardizaciju telekomunikacija [10]. Posebnost ovog standarda je što koristi uski pojas frekvencija mobilnih tehnologija druge, treće, četvrte i pete generacije. Radom na tim frekvencijama omogućeno je korištenje postojećih odašiljača za mobilne tehnologije što podrazumijeva široku globalnu pokrivenost te veći domet i brzine prijenosa podataka od Sigfox 0G i LoraWAN tehnologija.

Nedostatak sva 3 navedena komercijalna rješenja je potreba za korištenjem infrastrukture vanjskih pružatelja usluga koja distributeru stvara dodatne troškove. Prednosti su mala potrošnja

električne energije i široka pokrivenost signalom te su stoga ova rješenja idealna za povezivanje brojila za plin i vodu kojima je potreban vanjski izvor napajanja.

3.2.3. Mobilna tehnologija

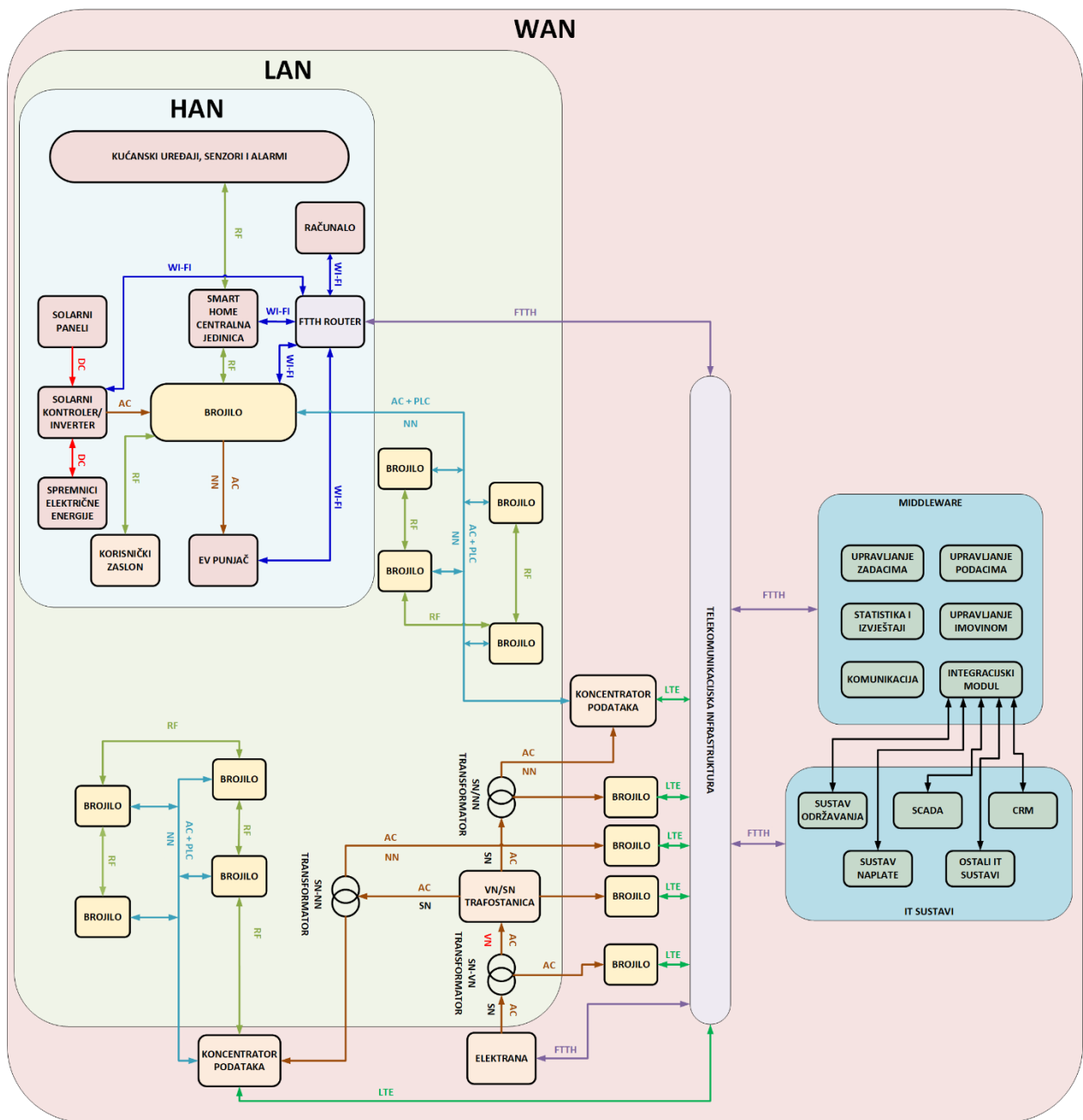
Infrastruktura mobilne tehnologije u većini je slučajeva u vlasništvu mobilnih operatera, stoga distributeri imaju izbor korištenja postojeće infrastrukture uz plaćanje naknade operaterima ili izgradnje vlastite mreže. Zbog visokih inicijalnih troškova izgradnje mreže, distributeri u većini slučajeva koriste postojeću mrežu u vlasništvu telekoma. Glavna prednost korištenja mobilne mreže je njena pokrivenost koja je 2021. godine na razini Europske Unije iznosila 99.8% [11]. Postoji više tehnologija mobilnih mreža, različitih generacija i karakteristika. Na raspolaganju su EDGE i GPRS, najsporije i zastarjele tehnologije te mreže većih brzina kao što su HSPA, LTE i 5G koje su puno bolji izbor zbog većih brzina, bolje pokrivenosti i dužeg vijeka trajanja.

3.2.4. Širokopolasni pristup internetu

U modernom dobu većina kućanstava ima širokopolasni pristup internetu. Spajanjem brojila i ostalih uređaja na korisnikov modem za pristup internetu povezuje se kućna mreža (HAN) sa mrežom širokog područja (WAN). Takav način komunikacije ovisi o korisnikovoj suglasnosti za korištenje njegove internetske konekcije. Prednost ovog načina je jednostavnost implementacije i mali troškovi. Međutim, da bi sustav funkcionirao bez poteškoća, potrebna je stalna veza između uređaja kod korisnika i *middleware*-a. Ukoliko kućna mreža izgubi vezu sa širokopolasnom mrežom, bilo to zbog tehničkog kvara ili nekog drugog uzroka, pametno brojilo će izgubiti vezu s ostalim elementima pametnog mjernog sustava. To može prouzročiti probleme s praćenjem isporučene električne energije i naplatom iste.

3.3. Primjer implementacije pametnog obračunskog sustava u postojećem EES

Tehnologije koje se koriste pri implementaciji pametnog obračunskog sustava u postojećem EES razlikuju se od tržišta do tržišta. Primarno ovise o odabranim funkcijama koje bi pametni obračunski sustav trebao ispunjavati, a ograničenja po pitanju dostupnih komunikacijskih tehnologija definiraju mrežne uređaje koji će se koristiti. Slika 3.7. prikazuje bitne elemente EES-a i sustava pametnog obračunskog mjerenja, njihovu interakciju te poziciju u komunikacijskoj mreži.



Slika 3.7. Primjer realizacije pametnog obračunskog sustava

Za ovaj primjer realizacije korištena su pametna brojila s više komunikacijskih tehnologija. Primarni način komunikacije izveden je putem hibridnog PLC+RF mjernog pristupnika u kombinaciji s koncentradorima podataka. Istovremenim korištenjem obje tehnologije postiže se mrežasta topologija (engl. *mesh network*) čiji je glavni benefit što svako brojilo ima na raspolaganju barem dvije raspoložive komunikacijske rute čime se smanjuje vjerojatnost gubitka konekcije.

Brojilo s integriranim kućnim mjernim pristupnikom predstavlja centralni element mreže kućnog pristupa. Uz komunikaciju s drugim brojilima i koncentratorima podataka, postoji mogućnost komunikacije i s ostalim uređajima u HAN sloju. Za primjer su korišteni pametni kućanski uređaji koji putem RF tehnologije komuniciraju s centralnom jedinicom, a moguća je i komunikacija sa samim brojiлом ukoliko se koriste kompatibilne RF tehnologije. Dodatno, u kućni mjerni pristupnik je moguće ugraditi i Wi-Fi modul putem kojeg bi se brojilo spojilo na korisnikov router te bi se taj komunikacijski kanal mogao koristiti i za spajanje na ostale korisnikove uređaje ukoliko je postignuta interoperabilnost. Trenutni trendovi u autoindustriji prikazuju sve veći broj automobila s električnim pogonom na cestama. Kako javno dostupne punionice nisu još uvijek dovoljno raširene, vozači električnu energiju za pogon vozila uzimaju iz kućne naponske mreže. EV punjači su uređaji visoke snage koji često u kontinuitetu rade više sati te stoga stvaraju veliko opterećenje u EES-u. Stoga je komunikacija tih uređaja s pametnim brojiлом u svrhu praćenja isporučene električne energije dosta bitna i za korisnika, a i za distributera, a na ovom primjeru je ostvarena putem Wi-Fi tehnologije. Sve veće cijene energenata, ali i želja za „zelenijim“ izvorima energije uzrokovale su masovnu ugradnju solarnih sustava kod korisnika. Ostvarivanjem komunikacije između solarnog kontrolera i pametnog brojila, korisnici i distributeri imaju direktan uvid u količinu električne energije isporučene iz tih izvora. Korisnički zaslon u ovom primjeru spojen je na brojilo putem RF tehnologije. Kao alternativni izvor podataka o isporučenoj električnoj energiji korisnici mogu koristiti i web servise na koje se spajaju putem računala s pristupom internetu. Zbog relativno visokih cijena korisničkih zaslona, većina distributera ih nude korisnicima kao neobaveznu opciju te se ugrađuju primarno kod korisnika koji nemaju mogućnost pristupa web servisima.

U mreži lokalnog pristupa nalaze se sva brojila koja su spojena na koncentratore podataka te brojila s direktnim pristupom internetu. Daljnja komunikacija predstavlja spajanje elemenata LAN mreže s *middleware*-om i ostalim IT sustavima koji se nalaze na serverima distributera. S obzirom da su serveri udaljeni stotinama ili tisućama kilometara od brojila, komunikacija se odvija putem telekomunikacijske infrastrukture. Komunikacijske tehnologije koje se koriste ovise o dostupnosti infrastrukture. U ovom primjeru su koncentratori podataka i brojila na transformatorima spojeni u WAN sloj putem LTE tehnologije. LTE je mobilna tehnologija četvrte generacija, a odabrana je zbog široke dostupnosti i dugog vijeka trajanja. Pokrivenost LTE signalom nije potpuna te je stoga moguće koristiti i alternativne tehnologije starijih generacija kao što su HSDPA/HSPA treće generacije ili GPRS/EDGE kao predstavnici druge generacije. Za pretpostaviti je da elektrana kao početna točka EES-a ima širokopojasni pristup

internetu te je u primjeru korištena FTTH tehnologija koja predstavlja pristup internetu putem optičkog kabela. Kako FTTH nije još uvijek dostupan na širem području, alternativni pristupi bi podrazumijevali korištenje DSL tehnologije putem parice ili pristup internetu kabelskom konekcijom, te u rijetkim slučajevima putem mobilnih mreža ukoliko ne postoji alternativa. Serveri na kojima se nalaze *middleware* i ostali IT sustavi, zbog velike količine podataka koje obrađuju na ostatak komunikacijske mreže se spajaju putem najbržih mogućih komunikacijskih tehnologija. Međusobna interakcija tih sustava se može ostvariti putem lokalne mreže ukoliko se nalaze u neposrednoj blizini (primjerice ista zgrada ili kompleks).

4. ISPLATIVOST PAMETNOG OBRAČUNSKOG SUSTAVA

Primarni razlozi za distributere da razviju pametne mjerne sustave su unapređivanje upravljanja energetske mrežama, omogućavanje diferencijacije na kompetitivnim tržištima te pružanje inovativnih usluga kao što je automatizacija kuća. Korisnici također mogu imati koristi od implementacija novih tehnologija. Moguće je smanjiti ukupnu potrošnju električne energije, a samim time i emisije CO₂ i ostalih plinova štetnih za okoliš. Unatoč zajedničkim ciljevima, postoji mnogo faktora koji utječu na konačnu odluku distributera po pitanju implementacije tih platformi. Neki distributeri započinju s automatizacijom obračunskih brojlara radi smanjenja gubitaka prihoda nastalih netehničkim gubicima. Drugi pokreću te projekte kako bi zadržali konkurentnost na sve zahtjevnijim tržištima.

Unatoč brojnim koristima, potpuna implementacija pametnog obračunskog sustava zahtjeva visoka ulaganja od strane distributera te se stoga provode analize troškova i koristi kako bi se utvrdila financijska isplativost implementacije. Europskom direktivom 2009/72/EC ustanovljena je potreba za izradom takvih analiza na razini država članica Europske Unije što je većina država odradila do 2017. godine. Za većinu država su rezultati analize bili pozitivni što bi značilo da su troškovi implementacije manji od koristi.

4.1. Troškovi implementacije pametnog obračunskog sustava

Glavna podjela troškova je na kapitalne, operativne i ostale troškove. Kapitalni troškovi (CAPEX – engl. *capital expenditure*) podrazumijevaju inicijalne izdatke koji nastaju prilikom izgradnje infrastrukture pametnih obračunskih sustava. Operativni troškovi (OPEX – engl. *operational expenditure*) su izdaci koji nastaju korištenjem i održavanjem izgrađenog sustava. Pod ostale troškove spadaju svi troškovi koji ne spadaju pod kapitalne i operativne troškove, a

najveći dio predstavljaju gubici u naplati nastali smanjenjem količine isporučene električne energije.

Pod kapitalne troškove spadaju inicijalna ulaganja u opremu i sustav kao što su:

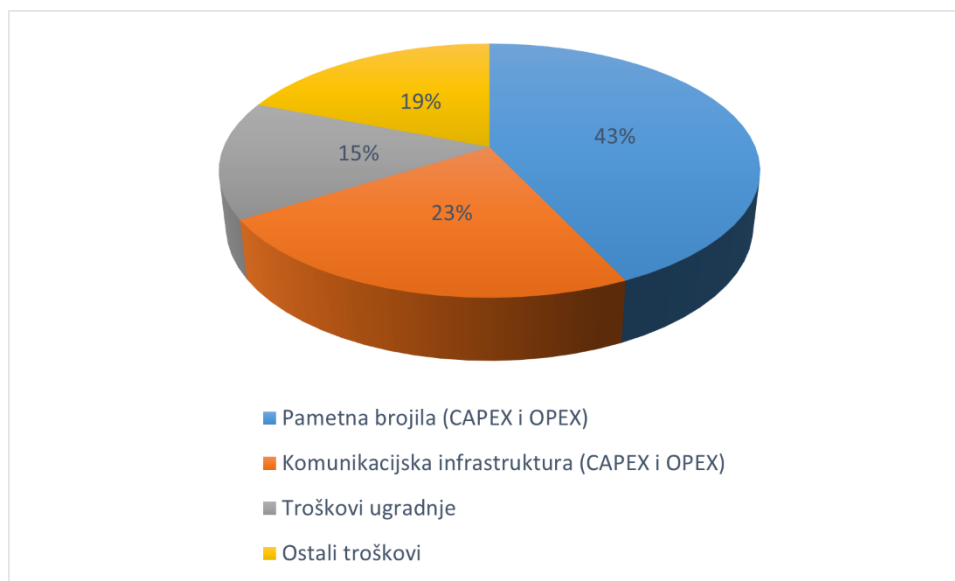
- Pametna obračunska brojila – kupnja i ugradnja uređaja
- IT infrastruktura – računalni sustavi za prikupljanje i obradu podataka te upravljanje elementima sustava
- Komunikacijska infrastruktura – kupnja i ugradnja komunikacijskih modula, koncentratora podataka i ostalih elemenata potrebnih za komunikaciju
- Korisnički zasloni – kupnja i ugradnja zaslona kod korisnika čiji se troškovi mogu alocirati pod IT infrastrukturu ukoliko se umjesto fizičkog zaslona korisnicima omogući uvid u potrošnju putem mobilne aplikacije ili web preglednika

Operativni troškovi koji se pojavljuju korištenjem i održavanjem pametnog obračunskog sustava su najčešće:

- Održavanje IT infrastrukture
- Održavanje komunikacijske infrastrukture
- Redovita i neplanirana zamjena brojila i ostalih elemenata sustava
- Troškovi korisničke službe
- Očitavanje brojila

Troškovi implementacije, a samim time i isplativost investicije uvelike ovise o stanju na tržištu države koja provodi implementaciju. Neki od faktora koji utječu na troškove su cijena i dostupnost opreme (uključujući brojila i elemente IT i komunikacijskog sustava), stanje na tržištu rada, ograničenja u korištenju komunikacijskih tehnologija i slično. Pravilan odabir modela brojila za ugradnju, komunikacijskih tehnologija te elemenata IT sustava bitan je za optimalan omjer troškova i dugotrajnosti sustava.

Ujedinjeno Kraljevstvo je 2012. godine počelo s implementacijom pametnog obračunskog sustava. Cilj je bio do 2020. godine sva brojila električne energije i plina zamijeniti pametnim brojilima, međutim taj cilj nije postignut te su do kraja 2022. godine ugradili pametna brojila na 50% obračunskih mjesta. Na slici 4.1. prikazana je raspodjela troškova iz njihove analize troškova i koristi.



Slika 4.1. Procjena troškova implementacije pametnog obračunskog sustava u UK [12]

4.2. Koristi implementacije pametnog obračunskog sustava

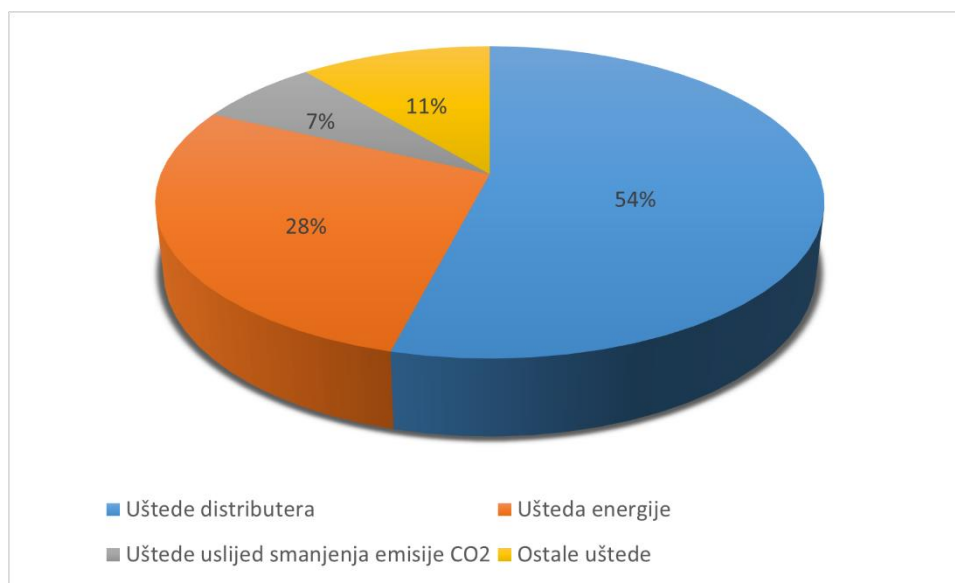
Jedan od glavnih argumenata za implementaciju pametnog obračunskog sustava su uštede, kako za korisnika, tako i za distributera. Korisnici imaju direktnu korist zbog smanjenja računa za isporučenu energiju. Promjenom korisnikove svijesti o korištenju električne energije, moguće je promijeniti njegove navike što će rezultirati smanjenom količinom isporučene električne energije, a samim time i manjim računima. Implementacijom pametnih brojila i korisničkih zaslona, korisnik puno lakše i češće dolazi do podataka o isporučenoj električnoj energiji te se stoga više angažira po pitanju uštede energije. Prateći potrošnju u stvarnom vremenu, vrlo je lako primijetiti koji uređaji u kućanstvu stvaraju najveći trošak pa se njihovo korištenje prilagođava tako da stvaraju što manji trošak ili se vrši zamjena s energetski efikasnijim uređajima. Smanjenjem isporučene električne energije ujedno se smanjuje i ugljični otisak što stvara dodatne uštede i pozitivno djeluje na atmosferu.

Unatoč visokim troškovima implementacije, distributeri ostvaruju značajne uštede korištenjem pametnih obračunskih sustava. Najvažnije koristi korištenja takvih sustava su:

- Smanjeni troškovi očitavanja stanja brojila – daljinskim očitavanjem smanjuje se potreba za periodičkim terenskim očitavanjima
- Smanjena količina isporučene energije – manje opterećenje EES-a

- Smanjeno vršno opterećenje EES-a – uvođenjem višetarifnog modela naplate, korisnici će prilagoditi potrošnju s ciljem smanjenja računa
- Smanjeni netehnički gubici – ilegalni priključci, netočna očitavanja i administrativne greške
- Smanjeni troškovi upravljanja i održavanja opreme
- Lakša dijagnostika i uklanjanje tehničkih gubitaka
- Smanjene emisije CO₂ i ostalih štetnih plinova

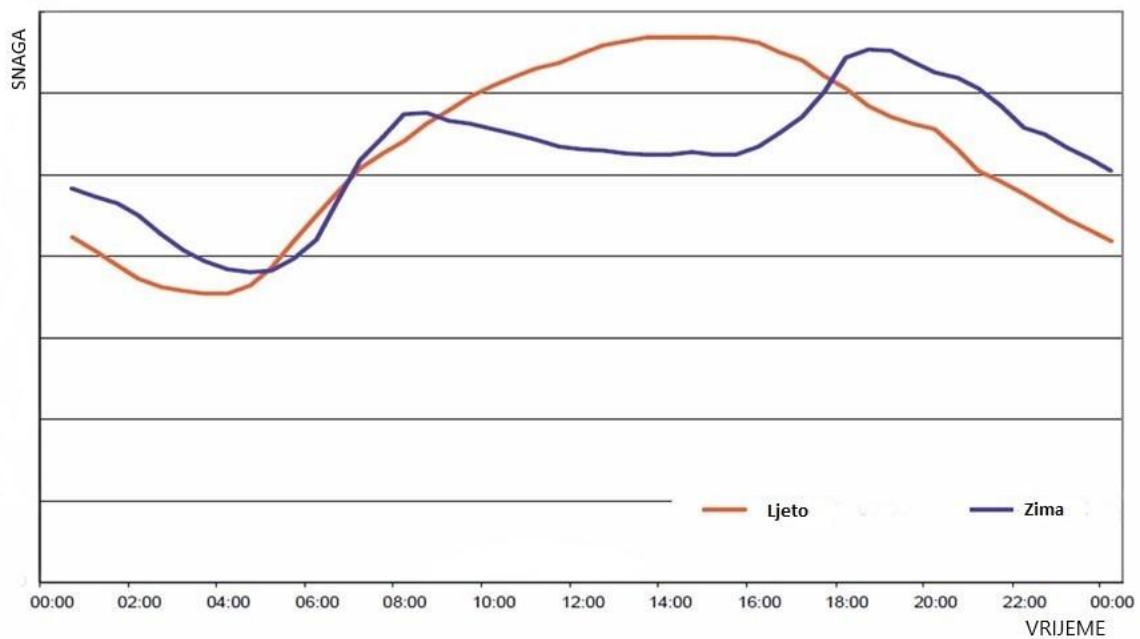
Slika 4.2. prikazuje procjenu raspodjele koristi iz analize troškova i koristi za UK:



Slika 4.2. Procjena raspodjele koristi implementacije pametnog obračunskog sustava u UK [12]

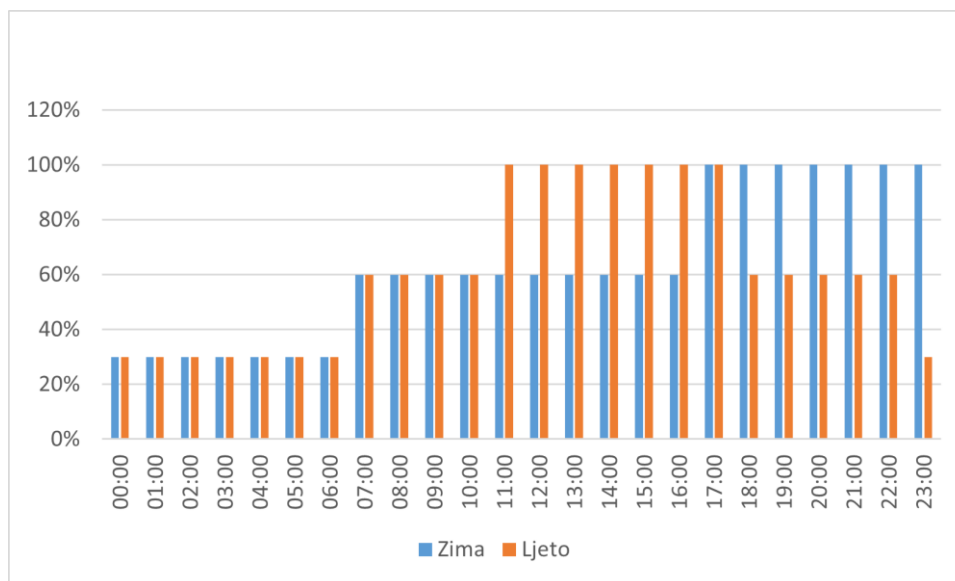
4.2.1. Dnevni dijagram opterećenja

Jedan od glavnih ciljeva automatizacije obračunskog mjerenja je smanjenje potrošnje električne energije, naročito tijekom vršnog opterećenja. Dnevni dijagram opterećenja prikazuje neravnomjernu raspodjelu isporučene električne energije u jednom danu (Slika 4.3.).



Slika 4.3. Primjer dnevnog dijagrama opterećenja [13]

Narančasta krivulja prikazuje opterećenje EES-a u jednom danu tijekom ljetnih mjeseci. Vidljivo je da je opterećenje najveće u doba dana kada je većina populacije na poslu. Povećanoj potrošnji doprinose i sve rašireniji klima uređaji. Tijekom zimskih mjeseci (plava krivulja) potrošnja je najveća u večernjim satima kada su temperature niske pa su ljudi većinom u zatvorenim prostorima te se koriste uređaji za grijanje. Na toplinsku energiju koju primamo od Sunca ne možemo utjecati, ali zato možemo racionalizirati potrošnju električne energije. Kada bi opterećenje bilo konstantno tijekom dana, cijena električne energije bila bi znatno manja. Distributeri pokušavaju ovaj problem riješiti, tj. ublažiti uvođenjem više tarifa za cijenu električne energije. U Republici Hrvatskoj su česta dvotarifna brojila. Prva tarifa se obračunava u vremenu od 7h-21h (zimi je to od 8h-22h), a druga tarifa od 21h-7h (zimi od 22h-8h). U prvoj tarifi se cijena električne energije obračunava po većoj cijeni, a u drugoj tarifi kada je opterećenje EES-a manje, električna energija je jeftinija. Promjenom svojih navika potrošnje električne energije, korisnici u isto vrijeme smanjuju opterećenje mreže, emisiju štetnih plinova, i račune za električnu energiju koja im je isporučena. Kod tradicionalnih brojila sa svakom se tarifom povećava kompleksnost i cijena izrade samog brojila, dok je uvođenjem pametnih brojila moguće programski definirati različite tarife bez upotrebe dodatnih komponenti.



Slika 4.4. Primjer cijena električne energije u ovisnosti o opterećenju mreže

Na slici 4.4. prikazan je primjer načina naplate s tri tarife. Prikazana cijena na x osi je relativna vrijednost u odnosu na standardnu tarifu. Vrijeme trajanja tarifa ne mora biti fiksno, nego distributer može odrediti u kojim intervalima će cijena električne energije biti viša ili niža. Optimalan način naplate bi bio kada bi cijena električne energije direktno ovisila o opterećenju mreže u stvarnom vremenu. Ovakav način naplate bi bio vrlo jednostavan za implementaciju u pametnom sustavu obračunskog mjerenja, a korisnik bi informacije o cijenama i potrošnji mogao dobiti putem korisničkog zaslona.

4.3. Isplativost implementacije pametnog obračunskog sustava

Svrha izrade analize troškova i koristi je utvrđivanje financijske isplativosti implementacije pametnog obračunskog sustava. S obzirom da je implementacija dugotrajan proces, stanje na tržištu se kroz vrijeme mijenja te konačni troškovi i koristi variraju u odnosu na rezultate analize. Unatoč tome, analiza troškova i koristi je dobar pokazatelj isplativosti implementacije čiji se rezultati koriste kao bitan faktor prilikom donošenja odluka o implementaciji. Dobar primjer je Republika Irska koja je nakon inicijalne pozitivno ocjenjene analize iz 2013. godine na sljedećoj analizi iz 2018. godine dobila negativan rezultat [14]. Prema podacima Europske Komisije iz 2020. godine, 18 članica EU28 je dobilo pozitivan rezultat analize, 4 je dobilo negativan, 2 nisu napravile analizu, a ostale su dobile neuvjerljiva rješenja. Državama članicama koje su dobile negativan rezultat direktivom 2012/27/EU je uvjetovana

obaveza ponovne izrade analize troškova i koristi najkasnije svake 4 godine kako bi se utvrdilo jesu li se uvjeti na tržištu promijenili po pitanju isplativosti implementacije pametnog obračunskog sustava. Temeljem rezultata analiza država članica, došlo se do zaključka kako je implementacija generalno isplativa. Podaci u tablici 4.1. prikazuju najbitnije pokazatelje isplativosti implementacije na razini EU28 država.

	Raspon vrijednosti	Prosječne vrijednosti	Standardna devijacija
Razdoblje evaluacije	8 - 50 godina	23 godine	± 13 godina (69%)
Životni vijek brojila	8 - 50 godina	15 godina	± 4 godine (57%)
Ušteda energije	5.42% - 7.85%	-	-
Smanjenje vršnog opterećenja	0.8% - 9.9%	-	-
Trošak po OMM	38€ - 546€	202 €	± 108€ (62%)
Koristi po OMM	44€ - 551€	271 €	± 143€ (62%)

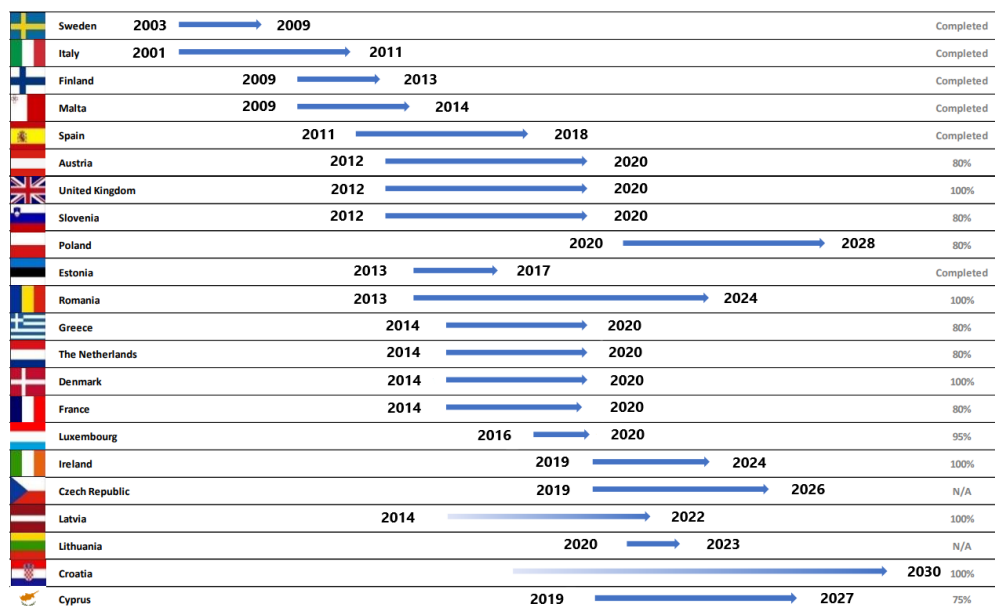
Tablica 4.1. Pokazatelji isplativosti implementacije u EU28 državama [14]

Vrijednosti u tablici prikazuju podatke svih dostupnih analiza troškova i koristi za EU28, njihove prosječne vrijednosti te standardna odstupanja od prosjeka. Razdoblje evaluacije predstavlja period koji se koristio pri izradi analize. Vrijednost od 50 godina za životni vijek brojila je vidljiva samo kod Cipra, a sljedeća najveća vrijednost je 20 godina. Kod podataka za uštedu energije bitno je naglasiti kako niža vrijednost predstavlja uštedu kod modela s periodičkim očitavanjem, a viša je za modele s očitavanjem u stvarnom vremenu. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency – IEA*) u 2019. godini je na razini EU28 zabilježeno najveće vršno opterećenje od 381GW te bi prema rezultatima analiza smanjenje vršnog opterećenja iznosilo između 3 i 37 GW snage. Usporedbe radi, ukupna instalirana električna snaga Nuklearne elektrane Krško iznosi 696MW što je 8-53 puta manje od potencijalne uštede u pametnom obračunskom sustavu na razini Europske Unije. Procjene troškova i koristi po obračunskom mjestu se uvelike razlikuju od države do države, ali je iz navedenih podataka vidljivo kako bi za gotovo dvije trećine obračunskih mjernih mjesta prosječna ušteda iznosila 69€.

5. PRIMJENA PAMETNIH OBRAČUNSKIH SUSTAVA

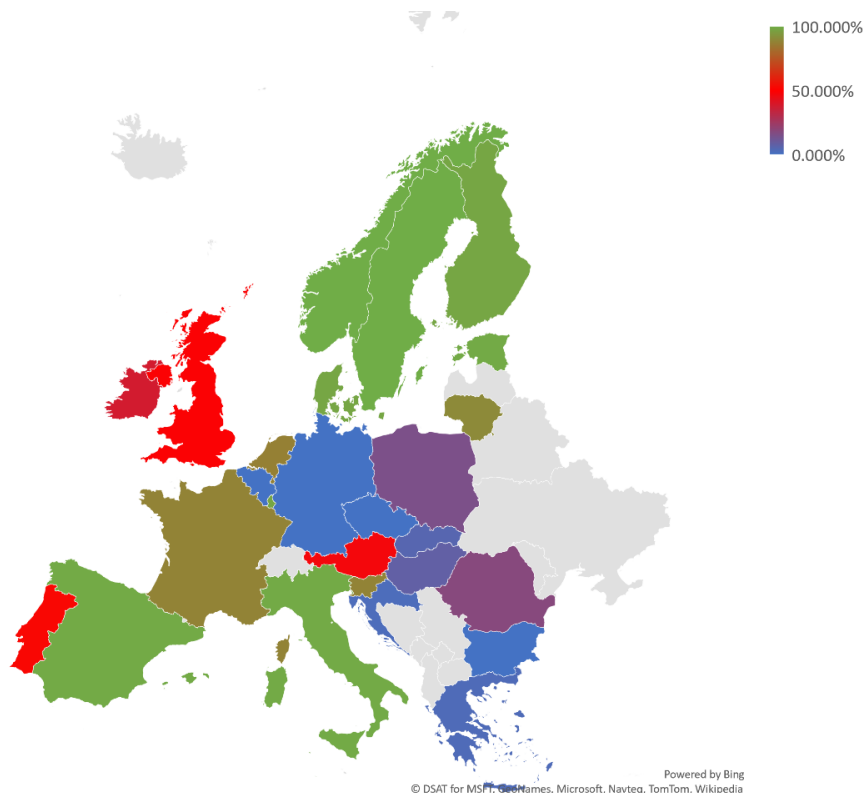
5.1. Primjena u Europi

Jedna od prvih zemalja u Europi, ali i svijetu koja je donijela odluku o zamjeni starih brojila pametnim modelima je Italija koja je 2001. godine započela proces implementacije pametnih brojila. Glavni razlog za zamjenu bila je visoka cijena električne energije koja je tada bila najviša u Europi. Implementacija je krenula od strane distributera Enel Distribuzione s ciljem smanjenja potrošnje, a u narednim godinama trendu zamijene pridružili su se i ostali distributeri. Do 2007. godine ugradnja pametnih brojila je bila dobrovoljna, a nakon toga obavezna s ciljem zamjene 95% brojila do 2011. godine. Italiji se 2003. godine u procesu implementacije pametnog obračunskog sustava pridružila i Švedska koja je u narednih 6 godina postigla potpunu pokrivenost pametnim brojilima. 2009. godine započinje proces implementacije u Finskoj, a do kraja 2013. sva brojila su bila zamijenjena pametnim modelima. Sve 3 navedene zemlje su ugradile pametna brojila prve generacije koje podržavaju funkcionalnosti AMR sustava (isključivo jednosmjerna komunikacija s očitavanjem jednom mjesečno ili češće). Uvođenjem Europske direktive 2009/72/EC pojavila se potreba za ugradnjom „pametnijih“ brojila koja podržavaju funkcionalnosti AMI sustava. S obzirom na rane početke ugradnje pametnih brojila u Italiji, Švedskoj i Finskoj, kraj životnog vijeka brojila prve generacije poklopio se s uvođenjem direktive te je započela 2. faza implementacije koja uključuje brojila druge generacije. Slika 5.1. prikazuje planirane strategije implementacije pametnih obračunskih sustava u državama članicama Europske Unije prema podacima iz 2018. godine.



Slika 5.1. Planirane strategije implementacije pametnih obračunskih sustava u EU [14]

Cilj Europske Unije bio je 80% ugrađenih pametnih brojila do 2020. godine. Prema podacima iz prosinca 2021. godine, 12 država članica je postiglo taj cilj, a to su Danska, Estonija, Finska, Francuska, Italija, Latvija, Litva, Luksemburg, Malta, Nizozemska, Španjolska i Švedska, te Norveška koja nije članica EU. Neke zemlje članice još uvijek nisu započele proces masovne implementacije, a jedna od njih je i Njemačka koja je na analizi troškova i koristi dobila negativan rezultat. Primarni razlog za to su visoki troškovi uzrokovani velikim brojem obračunskih mjernih mjesta (50 milijuna). Status implementacije u Europi prema podacima iz 2022. godine je prikazan na slici 5.2.



Slika 5.2. Status implementacije u Europi [15]

5.2. Primjena u Republici Hrvatskoj

Pilot projektom u Križu 2004. godine započela je prva faza implementacije pametnih brojila u elektroenergetski sustav Republike Hrvatske. Ugrađena brojila za komunikaciju su koristila širokopojasnu PLC tehnologiju s koncentradorom podataka u trafostanici.

Ulaskom u Europsku Uniju, i usvajanjem europske direktive 2009/72/CE Republika Hrvatska obvezala se implementirati pametni obračunski sustav u svoj EES. 2017. godine dovršena je analiza troškova i isplativosti s pozitivnim rezultatom. Procijenjeni kapitalni i

operativni troškovi za period evaluacije od 11 godina iznose 667,7 milijuna eura. Koristi implementacije su procijenjene na 830 milijuna eura. Nakon raspisanih javnih natječaja, sklopljeni su ugovori s proizvođačima Iskraemeco i Landis+Gyr s procijenjenim životnim vijekom od 16 godina. Uz brojila, od istih proizvođača kupljeni su i IT sustavi za upravljanje SEP2W System Iskraemeco i Advance Landis+Gyr. Kupljena brojila u većini slučajeva imaju integrirane komunikacijske module konzorcija G3-PLC Alliance koji rade putem širokopojasne PLC tehnologije s koncentratorima podataka, dok je daljnja komunikacija sa sustavom izvedena putem mobilnih mreža. Odabrana tehnička rješenja podržavaju svih 10 funkcionalnosti definiranih od strane Europske Komisije, kao npr. dvosmjerna komunikacija, očitavanje u stvarnom vremenu, napredni višetarifni model, sigurna komunikacija, mogućnost udaljenog iskapčanja i sl. Primjer pametnog brojila električne energije u upotrebi u RH prikazan je na slici 5.3.



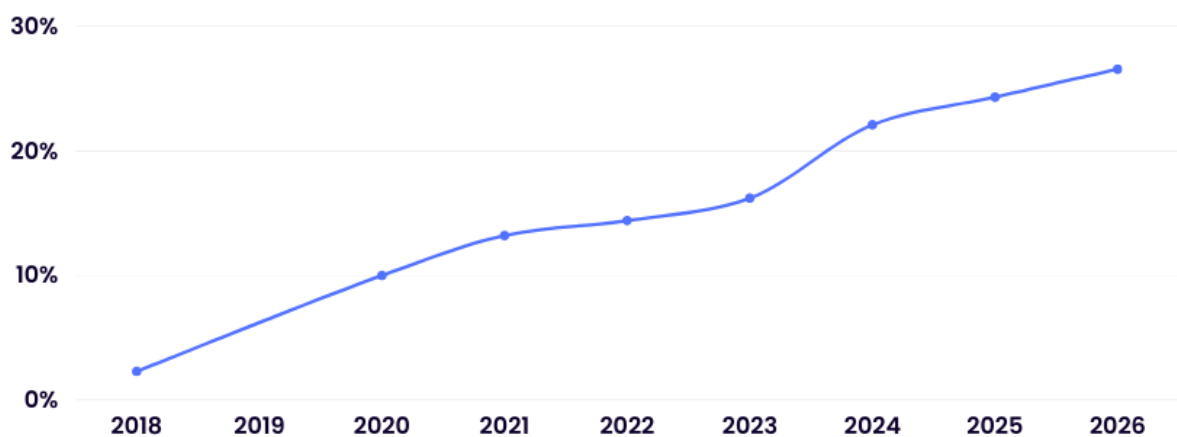
Slika 5.3. Landys+Gyr E450 pametno brojilo [16]

Tablica 5.1. prikazuje broj i strukturu obračunskih mjernih mjesta (OMM) u distribucijskoj mreži Hrvatske Elektroprivrede prema podacima iz 2023. godine.

	Broj OMM
Srednji i visoki napon	2,384
Niski napon poduzetništvo	205,997
Niski napon kućanstva	2,287,343
Niski napon javna rasvjeta	22,111
Ukupno	2,517,835

Tablica 5.1. Broj i struktura obračunskih mjernih mjesta u RH [17]

Bez jasno definiranog početka masovne implementacije, kao konačan cilj za potpunu pokrivenost pametnim brojilima postavljena je 2030. godina. Cilj za 2020. godinu bio je 450000 pametnih brojila. Početkom 2023. godine 16.2% obračunskih mjernih mjesta je uključeno u pametni obračunski sustav (408000 brojila) što uključuje i sva obračunska mjesta priključne snage veće od 20kW. Na slici 5.4. prikazani su dostupni podaci o ugrađenim pametnim brojilima te planovi za budućnost. Podaci za 2019. godinu nisu dostupni, a podaci za period od 2024. – 2026. su planirana ulaganja od strane HEP ODS-a. Vrijednosti za svaku godinu prikazuju stanje na početku godine.



Slika 5.4. Napredak implementacije pametnog obračunskog sustava u RH [17]

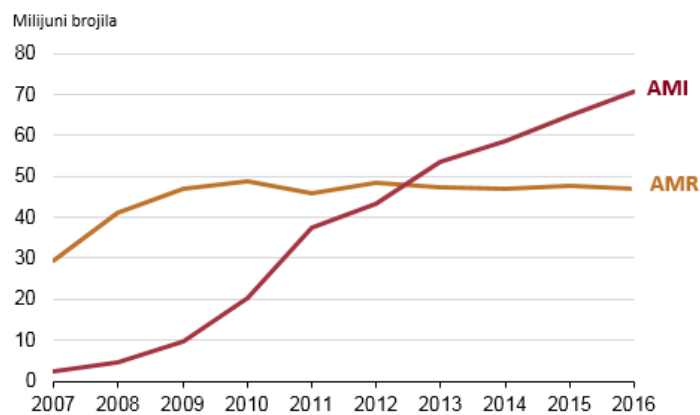
Prema trenutnim planovima HEP ODS-a, početkom 2026. godine tek će nešto više od jedne četvrtine ugrađenih brojila biti pametno. Za postizanje konačnog cilja biti će potrebno ugraditi otprilike 1.850.000 pametnih brojila u periodu od 2026. – 2030. godine. Jedan od glavnih razloga spore zamjene brojila u prethodnih nekoliko godina je Covid 19 pandemija koja je značajno otežala proces zamjene.

5.3 Primjena u svijetu

5.3.1. Sjeverna Amerika

Prva pametna brojila u Sjedinjenim Američkim Državama ugrađena su 80-ih godina prošlog stoljeća. Tehnologija za komunikaciju se temeljila na ID oznaci pozivatelja (engl. *Caller*

ID). Uspostavom telefonskog poziva između brojila i primatelja, analognim impulsima prenosila se brojčana informacija o stanju brojila. Masovna implementacija u Sjevernoj Americi započela je početkom 21. stoljeća s glavnim ciljem optimizacije dnevnog dijagrama opterećenja. U početku su se ugrađivala brojila s funkcijama AMR sustava, a par godina kasnije započela je implementacija AMI sustava (Slika 5.5.). Prema podacima iz 2021. godine [18] 72% ugrađenih brojila su bili pametni uređaji novije generacije. Plan je do 2027. godine postići pokrivenost od 93%. Većina brojila komunicira putem RF tehnologije, a PLC tehnologija se pokazala neisplativom zbog velikog broja transformatora. Na mjestima gdje nije moguće koristiti RF tehnologiju, za komunikaciju se koriste mobilne mreže.



Slika 5.5. Ugrađena brojila u SAD-u podijeljena po tehnologiji [19]

5.3.2. Latinska Amerika

Implementacija pametnih obračunskih sustava u Južnoj Americi i Meksiku tek je u začetku. Prema podacima iz 2023. godine [20] pametna brojila su bila ugrađena na 6.2% obračunskih mjesta. Jedan od glavnih razloga implementacije je smanjenje netehničkih gubitaka uzrokovanih ilegalnim priključcima na distribucijskom sustavu (Slika 5.6.) na koje primjerice u Brazilu odlazi 15% ukupne isporučene električne energije godišnje [21]. Unatoč kasnijim počecima implementacije na ovom tržištu, količina uloženi sredstava se povećava te će se u narednih nekoliko godina broj godišnje ugrađenih brojila utrostručiti.

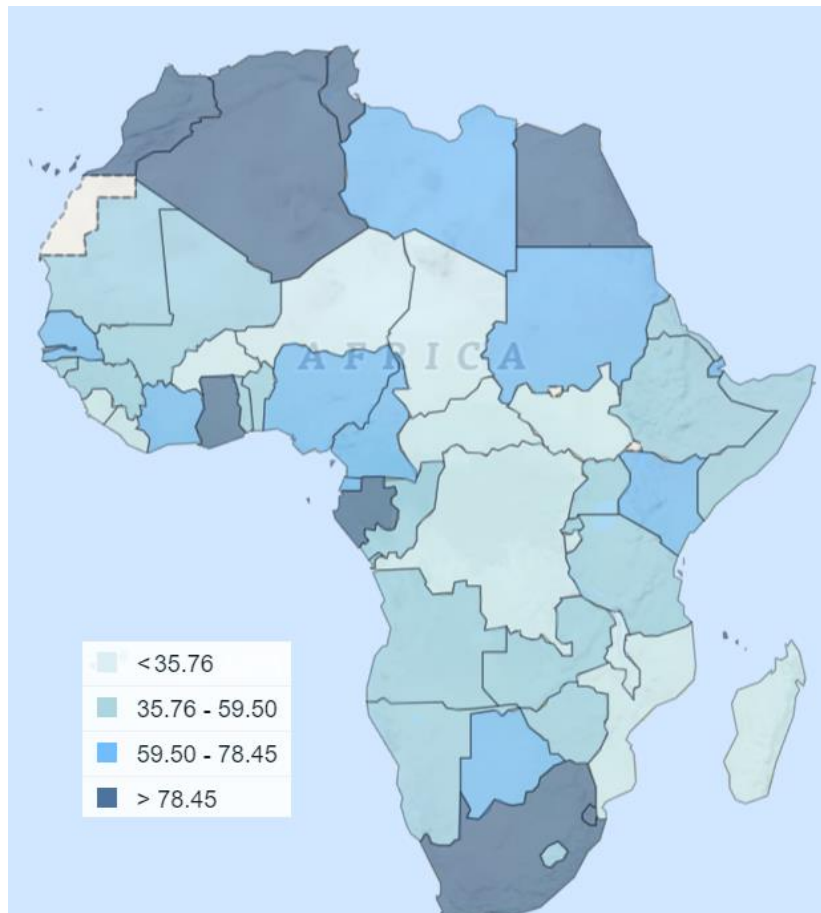


Slika 5.6. Primjer ilegalnih priključaka na distribucijskom sustavu u Brazilu [21]

5.3.3. Afrika

Iako je drugi najveći kontinent po površini i broju stanovnika, Afrika je još uvijek slabo razvijena. Proces implementacije pametnih obračunskih sustava započet je u Južnoafričkoj Republici te u nekoliko država na mediteranskom dijelu kontinenta. Najveći napredak je ostvaren u Egiptu gdje je otprilike 50% mjernih obračunskih mjesta opskrbljeno pametnim brojilima. Južnoafrička Republika nakon nekoliko odrađenih pilot projekata tek kreće u proces masovne implementacije. Najpopularnije komunikacijske tehnologije su PLC i RF, često u hibridnoj kombinaciji.

Dok nekolicina razvijenijih afričkih država ulaže u pametne obračunske sustave, one slabije razvijene još uvijek nemaju izgrađen elektroenergetski sustav koji bi opskrbljivao cjelokupno stanovništvo. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju [22] iz 2019. godine, 572 milijuna ljudi u Africi nije imalo pristup električnoj energiji (Slika 5.7.). Afrika će biti zadnji kontinent sa potpunom pokrivenošću pametnim brojilima, a to će postići tek nakon što razviju adekvatan elektroenergetski sustav.



Slike 5.7. Postotak afričkog stanovništva s pristupom električnoj energiji [23]

5.3.4. Azija i Oceanija

S 1.6 milijardi mjernih obračunskih mjesta, Azija i Oceanija predstavljaju najveće tržište pametnih obračunskih sustava. Ubrzani gospodarski rast zemalja na tom tržištu, unazad par godina rezultirao je masovnom implementacijom u većini zemalja. Procijenjeno je da će ukupan broj ugrađenih pametnih brojila doseći 1.1 milijardu 2027. godine [24]. Kina je trenutno predvodnik sa 100% obračunskih mjernih mjesta s pametnim brojlama, a Japan i Južna Koreja će uskoro postići istu pokrivenost. Indija i Bangladeš su zemlje s najvećim rastom broja ugrađenih brojila. U Kini i Južnoj Koreji za komunikaciju se primarno koristi PLC tehnologija, dok je u Japanu RF tehnologija dominantna. Australija je jedna od rijetkih zemalja koja kao primarnu komunikacijsku tehnologiju koristi mobilne mreže.

ZAKLJUČAK

U okviru završnog rada opisani su uređaji koji se koriste u tradicionalnom obračunskom sustavu električne energije, njihova svrha, princip rada i zakonski propisi o ovjeravanju ispravnosti. Prikazani su glavni problemi procesa naplate u tradicionalnom obračunskom sustavu te je objašnjeno na koji način mogu biti riješeni korištenjem pametnih obračunskih brojila. Opisana je arhitektura pametnih obračunskih sustava te su prikazane komunikacijske tehnologije koje se koriste u tim sustavima. Ilustrativnim primjerom realizacije prikazani su glavni elementi EES-a i pametnog obračunskog sustava, najpopularnije komunikacijske tehnologije te međusobna interakcija svih elemenata sustava.

Isplativost implementacije pametnog obračunskog sustava u postojeći EES ovisi o dugoročnim troškovima i koristima. Opisani su kapitalni troškovi koji nastaju prilikom implementacije te operativni troškovi nastali korištenjem i održavanjem takvog sustava. Koristi implementacije takvih sustava su brojne te je opisano na koji način distributeri i korisnici mogu ostvariti uštede. Analiza troškova i koristi implementacije, primarno na razini Europske Unije i Republike Hrvatske, rezultirala je zaključkom kako je implementacija pametnih obračunskih sustava generalno dugoročno isplativa.

Masovna implementacija pametnih obračunskih sustava u svijetu traje već neko vrijeme. U većini gospodarski razvijenijih zemalja pametna brojila su postala standardni način za praćenje potrošnje, a slabije razvijene zemlje tek započinju s implementacijom. Republika Hrvatska nije uspjela postići cilj Europske Unije (80% pametnih brojila do 2020. godine), a prema dostupnim podacima o tijeku implementacije velika je vjerojatnost da neće postići ni vlastiti cilj (100% pametnih brojila do 2030. godine). Povećanje cijene energenata znatno naglašava potrebu za pametnim obračunskim sustavima, te je stoga neminovno da će u jednom trenutku u razvoju civilizacije sva obračunska brojila električne energije, plina i ostalih komunalnih dobara na svijetu imati pametne značajke.

LITERATURA

- [1] Državni zavod za mjeriteljstvo, Naputak o ispitivanju statičkih brojila djelatne električne energije razreda točnosti 1 i 2, Narodne Novine, 2006.
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_01_11_283.html [13.9.2023.]
- [2] Državni zavod za mjeriteljstvo, Pravilnik o tehničkim i mjeriteljskim zahtjevima koji se odnosi na mjerila, Članak 8, 2013.
https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_85_1891.html [15.9.2023.]
- [3] A. Mateljan, Prezentacija „Stavljanje brojila na tržište RH“, 3. Međunarodna mjeriteljska konferencija „Odmjereno u Europu“, Opatija, 2012.
- [4] F. Toledo, Smart metering handbook, PennWell, SAD, 2013. (stranice 15-16)
- [5] Tehnička dokumentacija integriranog sklopa ADE9153A, Analog Devices Inc,
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ade9153a.pdf>
[13.9.2023.]
- [6] Proizvod u online trgovini, Takealot Online (RF) (Pty) Ltd.
<https://www.takealot.com/prepaid-electricity-meter-80amp/PLID41393774> [5.9.2023.]
- [7] Chameleon Technology IHD3 – upute za korištenje, Chameleon Technology (UK) Ltd,
<https://s3-eu-west-2.amazonaws.com/chameleontechnology.co.uk/wp-content/uploads/2020/07/IHD3-CAD-PPMID-User-Guide-1.pdf> [5.9.2023.]
- [8] What is Sigfox 0G Technology, Sigfox,
<https://www.sigfox.com/what-is-sigfox/> [13.9.2023.]
- [9] What is LoRaWAN® Specification, LoRa Alliance,
<https://loro-alliance.org/about-lorawan/> [13.9.2023.]
- [10] A. S. Gillis, DEFINITION – narrowband IoT (NB-IoT), TechTarget
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/narrowband-IoT-NB-IoT> [13.9.2023.]
- [11] P. Taylor, Coverage rate of mobile network worldwide 2015-2021, Statista.com, 2023.
<https://www.statista.com/statistics/1228776/mobile-network-coverage-worldwide-by-region/#statisticContainer> [5.9.2023.]

- [12] Europska Komisija, Country fiches for electricity smart metering, 2014.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188>
[5.9.2023.]
- [13] TonyfromOz, Nuclear Electrical Power Generation – Why The Fuss? (Part 2),
PA Pundits International, 2009.
<https://papundits.wordpress.com/2009/07/28/nuclear-electrical-power-generation-%E2%80%93-why-the-fuss-part-2/> [5.9.2023.]
- [14] F. Tounquet i C. Alaton, Benchmarking smart metering deployment in the EU-28
Final Report, Ured za publikacije Europske Unije, 2019.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b397ef73-698f-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-292461989> [5.9.2023.]
- [15] U. Shortall i C. Esser, Annual Report of the Results of Monitoring the Internal Electricity and
Natural Gas markets in 2021., European Union Agency for the Cooperation of Energy
Regulators i Council of European Energy Regulators, 2022.
https://www.acer.europa.eu/Publications/MMR_2021_Energy_Retail_Consumer_Protection_Volume.pdf [5.9.2023.]
- [16] Prikaz proizvoda proizvođača Landys+Gyr AG,
<https://www.landisgyr.eu/product/landisgyr-e450/> [5.9.2023.]
- [17] Desetogodišnji (2023. – 2032.) plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a, HEP –
Operator distribucijskog sustava d.o.o., Zagreb, 2023.
https://www.hera.hr/hr/docs/2023/Prijedlog_2023-02-28.pdf [5.9.2023.]
- [18] M. Carlsson, Smart Metering in North America, 5th edition, Berg Insight AB, 2022.
<https://media.berginsight.com/2022/12/23180016/bi-smna5-ps.pdf> [5.9.2023.]
- [19] A. Mey i S. Hoff, Nearly Half of all U.S. electricity customers have smart meters, U.S.
Energy Information Administration, 2017.
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34012> [5.9.2023.]
- [20] Y. Latief, Latin America smart meter penetration to triple by 2028., Synergy BV, 2023.
<https://www.smart-energy.com/industry-sectors/smart-meters/latin-america-smart-meter-penetration-to-triple-by-2028/> [5.9.2023.]
- [21] D. Garrunn, Smart grid solutions to Latin America's power theft crises, Verdict Media Ltd.,

2012.

<https://www.power-technology.com/features/featuresmart-grid-energy-theft-power-brazil-latin-america/> [5.9.2023.]

[22] Međunarodna agencija za energiju, Covid-19 continues to reverse electricity access progress, IEA - International Energy Agency, 2021.

<https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity> [5.9.2023.]

[23] The World Bank Group, Access to electricity (% of population), 2023.

<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS> [5.9.2023.]

[24] L. Östling, Smart Metering in Asia-Pacific, 5th Edition, Berg Insight AB, 2022.

<https://media.berginsight.com/2022/07/01161430/bi-smapac5-ps.pdf> [5.9.2023.]

SAŽETAK

Pametno obračunsko mjerenje

Sustavi pametnog obračunskog mjerenja razvijeni su primarno iz potrebe olakšavanja prikupljanja podataka. Implementacijom takvih sustava u postojeći elektroenergetski sustav distributeri i korisnici mogu ostvariti značajne uštede. U ovom završnom radu opisane su metode tradicionalnog obračunskog mjerenja i arhitektura pametnog obračunskog sustava. Objašnjeni su troškovi i koristi koji nastaju implementacijom te su prikazani trenutni svjetski trendovi implementacije i planovi za budućnost.

Ključne riječi: Pametno obračunsko mjerenje, pametno brojilo, daljinsko očitavanje, analiza troškova i koristi, napredak implementacije

ABSTRACT

Smart metering

Smart metering systems were developed primarily from the need to facilitate data collection. By implementing such systems into existing power systems, distributors and users can achieve significant savings. This final paper describes the methods of traditional measurements and the architecture of smart metering systems. The costs and savings from the implementation are explained, and presented are the current world implementation trends and plans for the future.

Keywords: Smart metering, smart meter, remote reading, cost and benefit analysis, implementation progress

ŽIVOTOPIS

Franjo Zor rođen je 9.9.1993. godine u Našicama. Nakon završenog osnovnoškolskog obrazovanja upisuje se u srednju školu u Našicama gdje stječe zvanje tehničara za elektroniku. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja upisuje stručni studij na Elektrotehničkom Fakultetu u Osijeku te odabire smjer elektroenergetike. Tijekom prve godine studiranja zapošljava se u Hrvatskom Telekomu na odjelu za upravljanje uslugama. To radno mjesto usmjerilo je njegovu karijeru prema sektoru telekomunikacija te mu je sljedeće radno mjesto bilo u Comcross Croatia d.o.o. gdje je obavljao posao tehničara za telekomunikacije na projektima Deutsche Telekoma u Njemačkoj. Od 2021. godine putem samostalne djelatnosti pruža uslugu planiranja optičkih mreža na britanskom tržištu telekomunikacija.