

Implementacija pametnih plinskih brojila u Europi

Barišić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:827656>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

IMPLEMENTACIJA PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U EUROPI

Diplomski rad

Ivan Barišić

N-336

Zagreb, 2020.

IMPLEMENTACIJA PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U EUROPI

IVAN BARIŠIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Kako bi se shvatio koncept uvođenja pametnih plinskih mjernih sustava, prije svega je potrebno razumjeti pravila unutar distribucijskog sustava. U diplomskom radu navodi se stanje implementacije pametnih plinskih brojila u države Europske unije, uključujući Veliku Britaniju. Navedene su i mnogobrojne prednosti koje nova tehnologija nudi, ali i negativne strane koje mogu udaljiti države od realizacije ovakvog projekta. Gotovo sve države provode analize troškova i koristi kako bi ustvrdile isplati li se ići u realizaciju projekta. Također, u radu su dani i primjeri tri najuspješnije države u procesu implementacije pametnih brojila; Velike Britanije, Italije i Nizozemske. Isto tako, Europska unija, zajedno s Europskim vijećem te Europskom komisijom, je iznijela brojne regulative i strategije, ali i donijela zakonske propise kao smjernice državama za uvođenje novih digitalnih tehnologija. Proučeni su provedeni pilot projekti nekoliko operatora distribucijskog sustava u Republici Hrvatskoj, te su opisana četiri referentna scenarija uvođenja plinskih pametnih brojila u RH kako bi se utvrdila isplativost projekta. Iz svega navedenog, proizašao je i sami zaključak navedene tematike diplomskog rada.

Ključne riječi: plin, pametno brojilo, plinski distribucijski sustav, napredna infrastruktura brojila, internet stvari

Diplomski rad sadrži: 66 stranica, 4 tablice, 14 slika, 3 priloga i 50 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica

Pomoć pri izradi: Ivan Smajla, mag. ing. petrol, asistent

Dražen Guberac, HEP d.d.

Tihomir Šibalić, Energia Naturalis d.o.o.

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica

2. Dr. sc., Luka Perković, docent

3. Dr. sc., Nikola Vištica, naslovni docent

Datum obrane: 22. rujna 2020., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

IMPLEMENTATION OF SMART GAS METERS IN EUROPE

IVAN BARIŠIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum and Gas Engineering and Energy
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In order to understand the concept of introducing smart gas metering systems, it is first necessary to understand the rules within the distribution system. This Master's thesis states the possibility of implementing a smart gas metering system in the countries of the European Union, including the United Kingdom. The numerous advantages that the new technology offers are also mentioned, as well as the negative sides that can distance countries from the realization of such a project. Almost all states conduct cost-benefit analyses to determine if it is worthwhile to undertake the project implementation. Also, the thesis gives examples of the three most successful countries in the process of implementing smart meters; Great Britain, Italy and the Netherlands. The European Union, together with the European Council and the European Commission, presented a number of regulations and strategies, but also passed legislation as guidelines for countries to introduce new digital technologies. Pilot projects of many distribution system operators in the Republic of Croatia have been implemented, and four reference scenarios for the introduction of gas smart meters in the Republic of Croatia have been described in order to determine the cost-effectiveness of the project. From all that was said above, the very conclusion of the mentioned topic of the Master's thesis arose.

Keywords: gas, smart meter, gas distribution system, advanced meter infrastructure, internet of things

Thesis contains: 66 pages, 4 tables, 14 figures, 3 enclosures and 50 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

Technical support and assistance: Assistant Ivan Smajla, mag. ing. petrol.

Dražen Guberac, HEP Plin d.d.

Tihomir Šibalić, Energia naturalis d.o.o.

Reviewers: 1. Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD
2. Assistant Professor Luka Perković, PhD
3. Title Assistant Professor Nikola Vištica, PhD

Date of defense: September 22, 2020, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	I
POPIS GRAFIČKIH PRIKAZA	II
POPIS PRILOGA	II
POPIS KORIŠTENIH KRATICA	III
1. UVOD	1
2. PAMETNA BROJILA	3
2.1 RAZVOJ PLINSKIH BROJILA KROZ POVIJEST	3
2.2 ŠTO JE PAMETNO PLINSKO BROJILO	9
2.3 DISTRIBUCIJSKI SUSTAV I PAMETNA PLINSKA MREŽA	11
2.4 VRSTE KOMUNIKACIJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U PAMETNOJ MREŽI	14
3. PREDNOSTI I NEDOSTACI UGRADNJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA	18
3.1 PREDNOSTI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA	18
3.2 NEDOSTACI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA	21
4. STAJALIŠTA I ZAKONODAVSTVO EUROPSKE UNIJE TE PERCEPCIJA JAVNOSTI O IMPLEMENTACIJI PAMETNIH BROJILA	24
4.1 STRATEGIJA I REGULATIVE EUROPSKE UNIJE	24
4.2 ZAKONSKI PROPISI ZA ZAŠTITU I SIGURNOST PODATAKA	26
4.3 PERCEPCIJA JAVNOSTI O IMPLEMENTACIJI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA	29
5. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U EUROPI	32
5.1 UJEDINJENO KRALJEVSTVO	33
5.2 ITALIJA	36
5.3 NIZOZEMSKA	39
6. IMPLEMENTACIJA PLINSKIH PAMETNIH BROJILA U REPUBLICI HRVATSKOJ	43
6.1 PILOT PROJEKTI UGRADNJE PAMETNIH BROJILA ZA OČITANJE POTROŠNJE PLINA U RH	43
6.1.1 Pilot projekt <i>ODS I</i>	44
6.1.2 Projekt daljinskog očitavanja plinskog brojila HEP Plin d.o.o.	46
6.2 SCENARIJI IMPLEMENTACIJE PLINSKIH PAMETNIH BROJILA U REPUBLICI HRVATSKOJ	49
6.2.1 Ulazni podaci	50
6.2.2 Rezultati analize	52
6.2.3 Energetske i financijske uštede	54

7. ZAKLJUČAK	59
8. LITERATURA.....	61
PRILOZI	65

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Baterijski korektor volumena plina maxiElcor (Energetika.net, 2018).....	4
Slika 2-2. Napredak u razvoju i funkcionalnosti energetske brojila (Avancini, D. B. et al., 2019).....	7
Slika 2-3. Pametno plinsko brojilo i zaslon za prikaz potrošnje (engl. IHD, in-home display) (www.freepricecompare.com, 2020).....	10
Slika 2-4. Pametna energetska mreža (Marcogaz, 2015).....	13
Slika 2-5. Oprema za očitavanje potrošnje plina koristeći RF modul – frekvencija 868MHz (Gradska plinara Zagreb, 2018.).....	15
Slika 2-6. Način funkcioniranja GPRS/GSM tehnologija (Energetika.net 2018).....	16
Slika 4-1. Različiti načini ugrožavanja pametnog brojila (Sharma, K., & Mohan Saini, L., 2015).....	28
Slika 5-1. Stanje implementacije pametnih plinskih brojila u državama članicama EU (European Commission, 2014a).....	33
Slika 5-2. Sustav pametnog mjerenja u UK-u (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018).....	35
Slika 5-3. Komunikacijsko sučelje pametnih brojila na primjeru Nizozemske (Poll, E. & van Aubel, P., 2019).....	41
Slika 6-1. Ultrazvučno plinsko brojilo.....	45
Slika 6-2. Karta pokrivenosti Sigfox mrežom u RH (www.sigfox.com, 2020).....	47
Slika 6-3. Membransko plinsko brojilo s Byte Lab senzorskim modulom za očitavanje (www.netokracija.com, 2020).....	48
Slika 6-4. Aplikacija tvrtke HEP Plin za praćenje parametara brojila u stvarnom vremenu (Crnički, B., 2019).....	49

POPIS TABLICA

Tablica 4-1. Minimalni funkcionalni zahtjevi za uvođenje pametnih mjernih sustava (European Commission, 2014a).....	25
Tablica 6-1. Ulazni podaci za četiri različita scenarija implementacije pametnih plinskih brojila iz kategorije kućanstvo.....	51
Tablica 6-2. Postotak implementacije pametnih plinskih brojila kroz narednih 10 godina prema četiri različita scenarija (%).....	52
Tablica 6-3. Raspodjela energetske uštede (%).....	52

POPIS GRAFIČKIH PRIKAZA

Grafički prikaz 3-1. Poredak razmatranih prednosti kroz uštedu upotrebom plinskih pametnih brojila i broj država članica koje su razmatrale prednosti kroz uštedu (Tounquet, F. et al., 2019).....	19
Grafički prikaz 3-2. Problemi upotrebe pametnih brojila u odnosu na broj država članica koje su razmatrale probleme (Tounquet, F. et al., 2019).....	22
Grafički prikaz 6-1. Ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila u 5. i 10. godini implementacije za četiri scenarija.....	53
Grafički prikaz 6-2. Trošak implementacije za 5. i 10. godinu ugradnje kroz četiri scenarija	53
Grafički prikaz 6-3. Količina energije koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojilima.	54
Grafički prikaz 6-4. Ušteda energije kroz četiri scenarija implementacije pametnih brojila i 5 scenarija postotaka energetske ušteda.....	55
Grafički prikaz 6-5. Financijska ušteda ostvarena temeljem energetske ušteda.....	56
Grafički prikaz 6-6. Financijska ušteda ostvarena temeljem smanjenja očitavanja i rada brojila.....	57
Grafički prikaz 6-7. Financijska ušteda ostvarena smanjenjem troškova rada i održavanja	58

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila za četiri scenarija	65
Prilog 2. Kumulativni trošak implementacije pametnih plinskih brojila za četiri scenarija.....	65
Prilog 3. Količina energije koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojilima (GWh)	66

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

AMI – napredna mjerna infrastruktura (engl. *advanced metering infrastructure*)

AMR – automatsko mjerno očitavanje (engl. *automated meter reading*)

atm = atmosfera

BEIS – Ministarstvo za poslovanje, energetiku i industrijsku strategiju (engl. *Department for Business, Energy and Industrial Strategy*)

CBA – analiza troškova i koristi (engl. *Cost benefit analysis*)

CO₂ – ugljikov dioksid

DCC - Tvrtka za podatkovnu komunikaciju (engl. *Data Communications Company*)

EU – Europska unija

EU-28 – Europska unija – 28 (27 država članica Europske unije + Ujedinjeno Kraljevstvo)

€ - euro (valuta)

G (plinsko brojilo) – razred/mjera potrošnje plinskog brojila

GPS – globalni sustav pozicioniranja (engl. *Global Positioning System*)

GPRS – paketna bežična, podatkovna komunikacijska usluga (engl. *general packet radio service*)

GSM - globalni sustav mobilne komunikacije (engl. *global system for mobile communications*)

HAN – mreža kućnog područja (engl. *Home area network*)

HERA - Hrvatska energetska regulatorna agencija

HNB – Hrvatska narodna banka

HSUP – Hrvatska stručna udruga za plin

IHD - zaslon za prikaz potrošnje (engl. *In-home display*)

IT – informacijska tehnologija (engl. *information technology*)

IoT – internet stvari (engl. *Internet of things*)

ISM - industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski raspon (engl. *Industrial, scientific and medical*)

kbps -kilobit u sekundi (engl. *kilobit per second*)

K - kelvin

Kn – kuna (valuta)

kWh – kilovatsat

LNG – ukapljeni prirodni plin (engl. *liquified natural gas*)

LoRa – dalekometna mreža (engl. *Long range*)

LPWAN - mreža širokog područja male snage (engl. *Low-Power Wide-Area Network*)

m³ – kubni metar

mbar - milibar

MHz – megaherc

NB – uski pojas (engl. *Narrowband*)

NO_x - dušikovi oksidi

ODS- operator distribucijskog sustava

OFGEM - Ured za tržište plina i električne energije (engl. *Office of Gas and Electricity Markets*)

OIE – obnovljivi izvori energije

OMM – obračunsko mjerno mjesto

PDV - porez na dodanu vrijednost

PtG – dobivanje obnovljivog plina iz električne energije dobivene iz obnovljivih izvora (engl. *Power to gas*)

RF – radiofrekvencija (engl. *Radio frequency*)

RMR- daljinsko mjerno očitavanje (engl. *remote meter reading*)

SII – integrirani informacijski sustav (engl. *Integrated Information System*)

SIM - modul identiteta pretplatnika (engl. *Subscriber Identity Module*); SIM kartica

SMETS – tehnička specifikacija pametne mjerne opreme (engl. *Smart Metering Equipment Technical Specification*); verzija pametnih brojlara u Ujedinjenom Kraljevstvu

SO₂ – sumporov dioksid

TIS - tehnološki inovacijski sustav (engl. *Technology Innovation System*)

TM – tarifni model

TOU - tarife vremena korištenja (engl. *time-of-use tariffs*)

TPA - treća strana (engl. *third party access*)

TWh - teravatsat

UK – Ujedinjeno Kraljevstvo

1. UVOD

Iako se posljednjih godina obnovljivi izvori energije sve češće spominju kao gorivo, ne više budućnosti, već sadašnjosti, nafta i plin i dalje su nositelji globalne ekonomije te sudjeluju s više od 50 % u globalnoj potrošnji energije (Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 2017).

Prirodni plin je vrlo važan izvor energije za Europsku uniju (u daljnjem tekstu: EU), a najviše se rabi kao gorivo u kućanstvima i gospodarstvu, te u petrokemijskoj industriji. Prema Eurostatovim statističkim podacima, navodi se da je potrošnja prirodnog plina u EU, uključujući Ujedinjeno Kraljevstvo (u daljnjem tekstu: EU-28) u sektoru kućanstva i stambenih objekata u 2018. godini iznosila 1.192, 75 TWh, što odgovara oko 36,22 % ukupne potrošnje energije. Time je plin kao energent pozicioniran na vodeće mjesto u krajnjoj energetske potrošnji u navedenom sektoru (<https://ec.europa.eu/eurostat>, 2020).

Ulaskom u EU, Republika Hrvatska (u daljnjem tekstu: RH) obvezala se da će slijediti smjernice Europske unije i u skladu s tim poticati upotrebu prirodnog plina kao alternativnog goriva. Prema posljednjem dostupnom izvješću Europske komisije za prvi kvartal tekuće godine, potrošnja prirodnog plina u RH porasla je za 4%, točnije za 0,04 milijarde m³ u odnosu na prethodnu godinu, kada je ista iznosila 3,05 milijarde m³ (<https://ec.europa.eu/>, 2020).

Hrvatski operator transportnog sustava, Plinacro, početkom 2020. godine pustio je u rad kompresorsku stanicu u Velikoj Ludini čime se omogućuje izvozni plinski tok duž interkonekcije Drávaszerdahely prema Mađarskoj, ali i ostatku Europe. Očekuje se da će ta interkonekcija igrati vrlo važnu ulogu nakon puštanja u rad LNG (engl. *liquified natural gas*) terminala na otoku Krku. Naime, terminal koji bi prema planu trebao započeti s radom početkom sljedeće godine, projekt je od strateškog interesa za RH, ali i Europske komisije. Isti će omogućiti sigurnost i pouzdanost opskrbe prirodnim plinom diverzifikacijom dobavnih pravaca te potaknuti konkurentnost na plinskom tržištu. Terminal, čiji je tehnički kapacitet 2,6 milijardi m³ godišnje, zakupljen je za iduće tri plinske godine i nema više slobodnog kapaciteta, što samo potvrđuje važnost samog projekta. Posljedično, očekivanja su da će cijene prirodnog plina u RH u skladu s time, u narednom razdoblju, padati (<https://vlada.gov.hr/>, 2020).

Međutim, prirodni je plin neobnovljiv izvor energije što znači da se njegove rezerve, jednom iscrpljene, ne mogu više obnavljati. Upravo zbog toga je potrebno obratiti pozornost na

regulaciju i praćenje potrošnje prirodnog plina kako bi se racionalizirala njegova potrošnja. Stoga, pravilno upravljanje rezervama prirodnog plina zahtijeva velike napore i troškove, kako energetske tako i financijske. Potrošači se ne ubrajaju u sudionike na plinskom tržištu, ali ipak su oni krajnji korisnici ovog nadasve značajnog energenta. Njihova potrošnja mjeri se plinskim brojilima, a u većini država članica Europske unije i danas se provode ručna očitavanja plinskog brojila dolaskom djelatnika operatora distribucijskog sustava na mjesto potrošnje, tzv. obračunsko mjerno mjesto (u daljnjem tekstu: OMM). Nova generacija brojila uklanja tu potrebu i dodatni trošak slanja operatora na mjesto potrošnje. Navedeni primjer samo je jedan od razloga zbog kojeg se uvode pametna plinska brojila, a koja će detaljnije biti opisana u nastavku.

Cilj diplomskog rada je prikazati trenutno stanje implementacije pametnih plinskih brojila u sektoru kućanstva, u državama EU-28. U prvom se dijelu rada objašnjava razvoj plinskih brojila kroz povijest te se navode vrste plinskih brojila koje se koriste. Nakon toga, naglasak je stavljen na uvođenje pametnog brojila kao nove tehnologije na plinskom tržištu, kao i funkcije koje uređaj pruža. Zatim se opisuje distribucijska plinska mreža i pravila na toj mreži, kako bi se plin uopće mogao isporučiti krajnjem potrošaču. Komunikacijske tehnologije koje koristi pametno brojilo također su detaljnije opisane u radu. Navedene su prednosti i nedostaci koji se dobivaju ugradnjom nove tehnologije. Zakonodavstvo, strategije i regulative Europske unije, Europske komisije i Vijeća po pitanju ugradnje pametnih brojila za praćenje potrošnje plina, kao i zakonski propisi za zaštitu i sigurnost podataka navedeni su u poglavlju broj 4. U istom je poglavlju navedena i percepcija javnosti vezano uz navedenu tematiku. Poglavlje 5 donosi pregled implementacijskih projekata pametnog mjernog sustava za plin u Velikoj Britaniji, Italiji i Nizozemskoj. Na kraju rada dan je trenutni pregled implementacije pametnih plinskih brojila u RH, gdje su navedeni i provedeni pilot projekti od strane operatora plinskog distribucijskog sustava (u daljnjem tekstu: ODS). Također, u istom poglavlju kroz tablične i grafičke prikaze referentnih scenarija analizirane su mogućnosti provedbe projekta implementacije pametnih plinskih brojila u RH. Na kraju rada donesen je konačan zaključak vezano uz uvođenje pametnih plinskih brojila na tržište.

2. PAMETNA BROJILA

Problemi porasta globalnih potreba za energijom te neučinkovito gospodarenje istom posljedično uzrokuje globalno zatopljenje, onečišćenje okoliša, kao i porast cijena energenata. Plinski je sektor uvidio navedeni problem i počeo djelovati stavljajući naglasak na racionalnu potrošnju plina kako bi se u budućnosti omogućilo stvaranje naprednog sustava upravljanja uključujući nadzor nad korištenjem i upravljanjem energetsom potrošnjom. Posljedice navedenih problema plinski sektor nastoji riješiti uvođenjem pametnih brojila.

Pametna brojila nova su tehnologija uređaja čija je glavna svrha precizno daljinsko očitavanje potrošnje energenata (plin, električna energija, toplinska energija) ili vode blizu stvarnom vremenu. Ipak, najvažnija komponenta uređaja je dvosmjerna komunikacija (engl. *two-way communication*) između brojila i potrošača. Naime, brojila omogućavaju potrošačima aktualno praćenje vlastite potrošnje te ulazne podatke čijim korištenjem potrošač može analizirati isplativost korištenja energenta, čime se povećava financijska svijest potrošača o vlastitoj potrošnji energije, ali i izbjegava potreba za procjenom naplate računa.

2.1 RAZVOJ PLINSKIH BROJILA KROZ POVIJEST

Razvojem i unaprjeđenjem tehnologije došlo je i do razvoja mjernih uređaja, ali i funkcija te mogućnosti koje uređaji mogu pružiti potrošaču, ali i ostalim sudionicima na tržištu plina. Razvoj brojila za potrošnju prirodnog plina tekao je razmjerno potrebama krajnjih korisnika, razumijevanjem i usklađivanjem s plinskim zakonima i potrebi za povećanjem točnosti mjerenja. Od svjetla lampica za mjerenje do tlačne i temperaturne korekcije, točnost i preciznost bili su pokretačka snaga za poboljšanje i dizajniranje novih tipova brojila.

Plinsko brojilo je uređaj koji mjeri količinu plina koja je prošla kroz samo brojilo. Jasno je da mjerenje količine plina stvara veći problem nego je to kod tekućina budući da na izmjerene količine jako utječu termodinamički uvjeti tlaka i temperature. Činjenica je da volumen plina od 1 m³ podrazumijeva standardne uvjete tlaka od 1,01325 bar i temperature od 288 K. Međutim, tlak plina nikad nije atmosferski, a temperatura plina je vrlo rijetko 288 K. Primjerice, tlak plina veći od standardnih vrijednosti uzrokovat će zauzimanje manjeg volumena za istu količinu plina u plinovodu, ali će posljedično potrošač dobiti veću količinu plina u odnosu na količinu koju je platio, što ide na štetu ODS-a i opskrbljivača. Isto tako,

ukoliko je temperatura plina veća od standardne, plin će zauzeti veći volumen za istu količinu plina u plinovodu, što za posljedicu ima manju količinu plina distribuiranu do potrošača. Upravo zbog tih oscilacija, potrebno je mjeriti stvarne količine plina što podrazumijeva određivanje temperature, tlaka i ogrjevne vrijednosti te prema tome korigiranje izmjerene količine plina.

Navedeni problem rješava se ugradnjom korektora, mjerača impulsa koji se postavlja na brojilo u slučaju kad postojeća plinska brojila imaju davač magnetnog impulsa na samom mehaničkom brojčaniku. Ugradnja korektora volumena plina obavezna je ukoliko je tlak plina koji prolazi kroz brojilo veći od 100 mbar, a ukoliko je manji ili jednak navedenom iznosu, ODS-ovima je dopušteno korištenje softverskog rješenja te u tom slučaju ugradnja korektora nije obavezna. Korektor volumena plina je elektronički uređaj koji korigira vrijednost očitane na plinskom brojilu računajući stvarnu količinu potrošenog plina temeljem podataka o izmjerenoj temperaturi i tlaku plina. Korigirana količina se izračunava u kubnim metrima pri izmjerenim uvjetima te se na temelju navedene količine vrši naplata potrošnje plina. S korektorom volumena plina se prenose podaci poput tlaka plina, temperature plina, korekcijskog faktora, alarma za dojavu stanja baterije, maksimalne satne potrošnje, alarma niskog tlaka te alarma neispravnosti rada korektora volumena. Na slici 2-1 prikazan je baterijski korektor volumena plina maxiElcor.



Slika 2-1. Baterijski korektor volumena plina maxiElcor (Energetika.net, 2018)

Slika 2-2 prikazuje napredak u razvoju i funkcionalnosti brojila za potrošnju energije. Prva generacija pametnih brojila mogla je slati očitavanja potrošnje opskrbljivaču automatskim (engl. AMR, *automated meter reading*) i daljinskim očitanjem brojila (engl. RMR, *remote meter reading*), čime se uklonila potreba za ručnim očitanjem. Zatim je došlo do razvoja napredne mjerne infrastrukture (engl. AMI, *advanced metering infrastructure*), a kojoj pripadaju i pametna brojila. Napredna mjerna infrastruktura omogućava upravljanje potražnjom, upravljanje distribucijom, kao i otkrivanja te sanacije kvarova. Međutim, najvažnija funkcija napredne mjerne infrastrukture je mogućnost dvosmjerne komunikacije u vidu prijenosa, nadzora i kontrole podataka. Temeljem podataka sa slike, može se zaključiti da su suvremena pametna brojila po mnogim kriterijima drugačija od svojih prethodnika, imaju brojne prednosti i funkcije koje mogu ponuditi svim sudionicima na tržištu, a posebno krajnjim korisnicima.

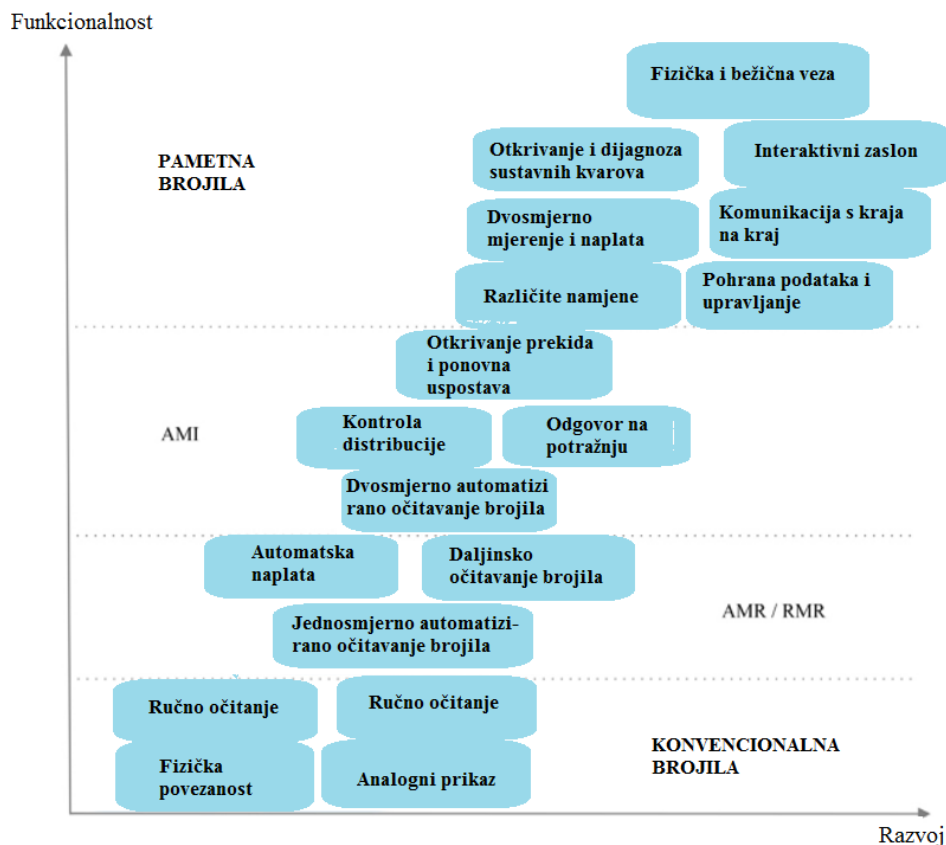
Konvencionalna brojila imala su mogućnost ručnog očitavanja, veza je bila fizička, a prikaz analogni. Nakon toga, automatskim i daljinskim očitanjem brojila bila je omogućena automatska naplata, daljinsko očitavanje brojila te jednosmjerna komunikacija, odnosno očitavanje brojila. Napredna mjerna infrastruktura, osim spomenute dvosmjerne komunikacije, pruža pogodnosti poput detekcije prekida rada i ponovnog uspostavljanja, kontrole distribucijske mreže te odgovora na potražnju. Pametna brojila nude prednosti poput bežične komunikacije, otkrivanja i dijagnosticanja kvarova u sustavu, pohrane i upravljanja podacima, komunikacije s kraja na kraj (engl. *end-to-end communication*) interaktivnog prikaza te dvosmjernog mjerenja i naplate. Naplata računa jedna je od temeljnih aktivnosti bilo kojeg opskrbljivača plinom. Naime, dvije su vrste pametnih brojila s obzirom na tarifu: pretplatna pametna brojila (engl. *prepayment smart meters*) i kreditna pametna brojila (engl. *credit smart meters*). Pametna brojila s plaćanjem unaprijed omogućuju veću fleksibilnost, učinkovitost potrošnje i pretplatu pogodnu za kupce praćenjem količine raspoloživog novca i prema tome nadopunjavanjem pomoću dopunske kartice, putem interneta ili aplikacije. S druge strane, kod kreditnih pametnih brojila, energija se plaća tek nakon što se utroši.

Tradicionalno su se koristila konvencionalna brojila s ručnim očitanjem (engl. *credit meter*) poput membranskog brojila plina, s redovitim očitanjem brojila, pružanjem kredita kupcima i normalnim mehanizmima naplate. Međutim, taj proces je vrlo skup zbog potrebe fizičkog pristupa brojilu kod očitavanja kako za ODS-ove, tako i za krajnje potrošače. To je ujedno i

jedan od razloga zbog kojeg se krenulo s uvođenjem novih pametnih brojila za kućanstva. Dostupne tehnologije pametnih brojila uključuju sljedeće (Gavra, L., et al., 2012):

1. Konvencionalno brojilo zajedno s opremom za naknadnu ugradnju, što pruža mogućnost daljinskog očitavanja s mogućom dvosmjernom komunikacijom
2. Novo pametno brojilo koje zahtijeva dodatne troškove što uključuje novu opremu, nove instalacije i dodatne operacije koje treba izvršiti nakon zamjene brojila. Instalacija novog pametnog brojila zahtijeva sljedeća tehnička rješenja:
 - a) novo brojilo opremljeno komunikacijskim modulom (integrirano),
 - b) novo brojilo opremljeno komunikacijskim modulom i ventilom (oba integrirana),
 - c) novo brojilo opremljeno komunikacijskim modulom, zajedno s temperaturnom korekcijom i ventilom (integrirano),
 - d) novo brojilo opremljeno komunikacijskim modulom, zajedno s temperaturnom korekcijom (integrirano).

Navedena rješenja su zapravo kategorije pametnih brojila koje se danas koriste u sustavu pametnog mjerenja potrošnje plina.



Slika 2-2. Napredak u razvoju i funkcionalnosti energetskih brojila (Avancini, D. B. et al., 2019)

1. Vrste plinskih brojila

Nekoliko je vrsta plinskih brojila koji se koriste za mjerenje potrošnje plina, a razlikuju se ovisno o vrsti plina i brzini protoka plina. Općenito, plinska brojila mogu se svrstati u tri grupe:

1. Brojila pozitivnog pomaka (membranska i rotacijska);
2. Inferencijalna brojila (brojila otvora *orifice* i turbinska);
3. Ultrazvučna brojila.

Membranska plinska brojila

Unutar plinskog brojila nalaze se dvije ili više komora formirane pokretnim dijafragmama. Protokom plina kojim upravljaju unutarnji ventili, komore se naizmjenično pune i protjeruju plin, te se stvara gotovo kontinuirani protok plina kroz brojilo. Širenjem i skupljanjem dijafragme, poluge koje se spajaju na osovinu pretvaraju linearno gibanje dijafragmi u rotacijsko gibanje osovine koje služi kao primarni element protoka. Navedena osovina može stvarati električne impulse ili pokretati mehanizam brojčanika za računalno protoka. Različiti

parovi zupčanika omogućuju korekciju pogrešaka. Zupčanici se nalaze između brojčanika i izlazne osovine mjernog mehanizma te se njihovim podešavanjem korigira pogreška mjernog mehanizma unutar dozvoljenih granica točnosti. Iako se membranska plinska brojila i danas često koriste u stambenim objektima i za laganu komercijalnu primjenu, ograničena su brzinama protoka i stvorila se potreba za razvojem drugih vrsta brojila.

Rotacijska plinska brojila

Rotacijsko brojilo je još jedan tip brojila pozitivnog pomaka i često se koristi ondje gdje se zahtijeva veći volumen ili veći tlak. U tom se slučaju protok plina ili tekućine dijeli rotirajućim klipom ili rotorom s lopaticama te se svakom rotacijom pomiče i mjeri količina proteklog plina.

Turbinska plinska brojila

Mala unutarnja turbina mjeri brzinu plina koji se prenosi na mehanički ili elektronički brojač. Za turbinsko brojilo, volumetrijska brzina protoka izračunava se na temelju kutne brzine rotora unutar brojila. Također ima pokretne dijelove, pa se u obzir mora uzeti čistoća plina, a zahtijeva tlačnu i temperaturnu korekciju. Ova vrsta brojila ima dobru preciznost, međutim ograničena je na mjerenje manjih protoka.

Orifice plinska brojila

To je brojilo diferencijalnog tlaka ili inferencijalno brojilo gdje točno određena ploča otvora stvara pad tlaka, utječući tako na protok. Nemaju pokretnih dijelova, lagano ih je servisirati i mogu mjeriti prljavi plin. Ovo brojilo mjeri velike količine protoka plina. Osjetljivi su na nizak protok i trebaju statički tlak plina, diferencijalni tlak, viskoznost, gustoću i temperaturu da bi se točno izmjerio protok plina.

Ultrazvučna plinska brojila

Puno složenija u odnosu na ostala, potpuno mehanička brojila. Ultrazvučna brojila ne sadrže pokretne dijelove, mjere brzinu protjecanja plina mjerenjem brzine kojom zvuk putuje u plinovitom mediju u cijevi. Brzina plina utječe na razliku vremena u putovanju impulsa od ultrazvučnih pretvarača koji naizmjenično rade kao odašiljač i prijemnik. Vrijeme putovanja impulsa smanjeno je u smjeru strujanja fluida, a povećano u obrnutom smjeru. Dijeljenje duljine staze mjerenja i vremena putovanja impulsa daje brzinu plina, koja množenjem s presjekom cijevi rezultira protokom.

2.2 ŠTO JE PAMETNO PLINSKO BROJILO

Pametno plinsko brojilo napredno je brojilo koje bilježi potrošnju prirodnog plina u intervalima od sat vremena ili manje, a dobivene informacije prenosi najmanje jednom dnevno putem određene komunikacijske mreže natrag do distributera, te posljedično opskrbljivača, za kontrolu i preciznu naplatu potrošene količine plina. Brojilo je dobilo pridjev “pametno” upravo zbog svrhe koju ima, a to uključuje prikupljanje, obradu i pohranu velike količine podataka. Kako se sve više korisnika povezuje putem pametnih brojila, povećava se i količina dostupnih podataka u sustavu. Automatizacijom procesa mjerenja, a koja obuhvaća obradu, prijenos, upravljanje i korištenje izmjerenih podataka, moguće je ostvariti značajne uštede, kao i smanjiti troškove rada.

Jedan od glavnih ciljeva je staviti potrošača u središte, kao aktivnog sudionika u upravljanju vlastitom potrošnjom, čime bi on prestao biti „samo“ krajnji korisnik u energetsom lancu. Naime, pametna brojila omogućuju sudjelovanje malih kupaca na tržištu, kako na razini maloprodaje, tako i, izravno ili neizravno, na veleprodajnom tržištu. Svoju ulogu potrošač bi opravdao kroz dvosmjernu komunikaciju putem pametnih plinskih brojila preko kojih bi se povezo na pametnu plinsku mrežu. Sposobnost upravljanja dvosmjernom komunikacijom najvažnija je značajka koju imaju moderna pametna brojila.

Pametno brojilo „govori“ potrošaču koje točno radnje treba poduzeti kako bi smanjio potrošnju, ostvario uštede, smanjio okolišno onečišćenje i rastrošnost te donio korist budućim generacijama. Potrošač upute i podatke o energetske potrošnji dobiva putem zaslona za prikaz potrošnje (engl. *IHD, In-home display*), a koji se nalazi na lako dostupnom mjestu u domu. Zaslona za prikaz potrošnje povezan je s pametnim brojiлом preko namjenske i sigurne radio veze. Podatke o potrošnji, ali i savjete za povećanje učinkovitosti iste potrošač može provjeriti i putem aplikacije, kao i na mrežnoj stranici koristeći vlastiti internetski račun.

Sustav pametnog mjerenja sastoji se od četiri komponente (Kuzlu, M. et al., 2014.):

- uređaj za mjerenje potrošnje (pametno brojilo),
- uređaj za prikupljanje podataka (koncentrator podataka),
- komunikacijski sustav za prijenos podataka,
- središnji sustav za kontrolu i upravljanje (glavna upravljačka jedinica).

Navedene komponente sustava međusobno su povezane te omogućuju uspostavu komunikacije pametnih brojila u pametnoj plinskoj mreži, a o čemu će više riječi biti u odjeljku 2.4.

Na slici 2-3 nalazi se pametno plinsko brojilo zajedno sa zaslonom za prikaz potrošnje.



Slika 2-3. Pametno plinsko brojilo i zaslon za prikaz potrošnje (engl. IHD, in-home display) (www.freepricecompare.com, 2020)

2. Funkcije pametnih plinskih brojila

Europska unija je u svom radnom dokumentu *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27* iz 2014. godine definirala deset minimalnih funkcija koje pametna brojila električne energije moraju osigurati. Međutim, gotovo sve te funkcije (9 od 10) primjenjive su i na pametna brojila plina, a svrstane su u četiri kategorije (Stagnaro, C., & Benedettini, S., 2020):

- 1) potrošač (pružanje očitavanja izravno potrošaču i/ili trećim stranama (engl. *TPA, third party access*), ažuriranje istih najmanje svakih 60 minuta);
- 2) operator distribucijskog sustava (vrši daljinsko očitavanje, dvosmjerna komunikacija za održavanje i kontrolu sustava, dovoljna učestalost očitavanja što je važno za kontrolu plinske mreže);
- 3) tržišni aspekti (podržavanje naprednih tarifnih sustava, daljinska kontrola napajanja/opskrbe uključivanjem/isključivanjem);
- 4) zaštita podataka (pružanje sigurne podatkovne komunikacije, otkrivanja te sanacije kvarova).

Točnost i preciznost mjerenja potrošnje jedna je od osnovnih funkcija pametnih brojila. Kod pametnih brojila električne energije, mjerno razdoblje je svakih 15 minuta. S druge strane, kod plinskih pametnih brojila, stanje brojila bilježi se svaki sat, a iz njega se računa potrošnja na satnoj, višesatnoj ili dnevnoj razini. Jedan od razloga je taj što je potražnja, odnosno tok prirodnog plina puno stabilniji nego tok električne energije, pa nije potrebno toliko često mjerenje. Drugi je razlog usko vezan uz prvi; naime, plinska brojila za napajanje koriste baterije koje se brže troše, zbog čega ih je potrebno češće mijenjati, a kako bi se takav slučaj izbjegao, mjerni intervali postaju duži (Avancini et al, 2019).

2.3 DISTRIBUCIJSKI SUSTAV I PAMETNA PLINSKA MREŽA

Tok plina obuhvaća njegov ulazak u transportni sustav, bilo na interkonekcijama, iz podzemnog plinskog skladišta, iz terminala za ukapljeni prirodni plin (u daljnjem tekstu: UPP) ili s proizvodnih polja. Na mjerno-redukcijskim stanicama, plin prelazi iz visokotlačnog transportnog sustava u distribucijski sustav, odnosno distribucijsku mrežu plinovoda, gdje ide na obradu kroz odorizaciju plina, mjerenje i reguliranje protočnih količina plina te redukciju tlaka, nakon čega se priprema za komercijalnu upotrebu te isporuku plina krajnjih kupcima kroz distribucijski sustav. Plinski distribucijski sustav prilagođen je distribuciji prirodnog plina, isparenog ukapljenog naftnog plina, miješanog ukapljenog naftnog plina, bioplina i plina iz biomase pri čemu je bitno da su plinovi međusobno fizički odvojeni na način da je onemogućeno miješanje različitih vrsta plinova. Dozvoljeno je umješavanje bioplina, plina iz biomase i drugih vrsta plina s prirodnim plinom, samo ako se te vrste plina mogu tehnički i sigurno dodavati u tok prirodnog plina te ako se dobivena smjesa plina može tehnički i sigurno distribuirati kroz distribucijski sustav. Izlaz iz distribucijskog sustava je zapravo fizički spoj distribucijskog sustava i plinske instalacije građevine priključene na distribucijski sustav, gdje se odgovornost ODS-a prenosi na krajnjeg korisnika. Opskrbljivač plinom je sudionik na plinskom tržištu koji sklapa ugovor o distribuciji plina s ODS-om, koji kao korisnik njegovog distribucijskog sustava opskrbljuje krajnjeg kupca plinom, a s kojim sklapa ugovor o opskrbi plinom. Opskrbljivač dobiva podatke o potrošnji plina od krajnjeg kupca koji mu dojavljuje stanje plinskog brojila, ili od ODS-a koji mu dostavlja stanje plinskog brojila ili procjenu o potrošnji plina. Navedeni proces ukratko je opisani način na koji funkcionira distribucijski sustav. Takav postupak vrlo je usporen, sadrži velik broj pogrešaka, procjena, kao i gubitaka za sve sudionike na plinskom tržištu (Mrežna pravila plinskog distribucijskog sustava, 2018).

Stoga, vrlo je važno pratiti razvoj tehnologije i digitalizaciju procesa upravljanja te djelovati s ciljem modernizacije plinskog sektora. U plinskom sektoru sve veći naglasak je stavljen na uspostavljanje napredne tzv. pametne mreže, a što će uključivati nadzor nad korištenjem i upravljanjem energijom (plin, električna energija) i vodom. Pametna plinska mreža je digitalizirana mreža koja podržava nove značajke integrirajući inovativne, jeftine i pametne senzore temeljene na nanotehnologijama. Ona nastoji poboljšati mogućnost mreže u integraciji decentralizirane proizvodnje obnovljivih plinova, a što za posljedicu ima ubrzanje dekarbonizacije krajnje upotrebe (toplina, kuhanje, industrijski procesi i mobilnost). Naime, pametna plinska mreža omogućava potrošačima da postanu kupci/potrošači s vlastitom proizvodnjom (engl. *prosumer*). Kupac/potrošač s vlastitom proizvodnjom je krajnji kupac električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u transportni ili distribucijski sustav. Dakle, on koristi plin za smanjenje vršne potrošnje u elektroenergetskoj mreži i za smanjenje gubitaka energije u mrežama za prijenos i distribuciju električne energije, a električnu energiju proizvodi iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije. Samim time, pametna plinska mreža omogućava sinergiju između plinske i elektroenergetske mreže poticanjem decentralizirane proizvodnje.

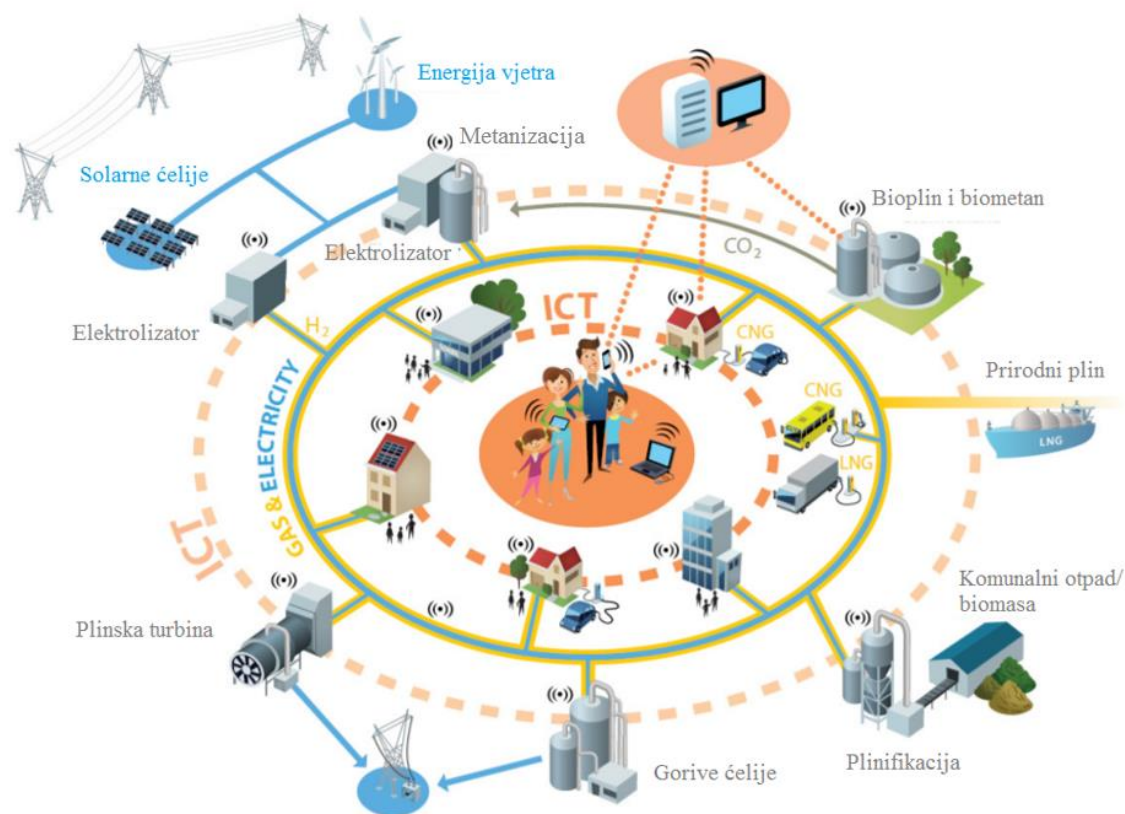
Pametnom plinskom mrežom ispunjavaju se četiri zadatka:

- 1) omogućava integraciju s električnom energijom, grijanjem, vodom i telekomunikacijskim mrežama,
- 2) uključuje nove informacijske i komunikacijske tehnologije,
- 3) omogućava bolje praćenje korištenja bioplina, vodika i/ili sintetskog metana u distribucijskim sustavima te
- 4) povećava energetske učinkovitost plinske mreže.

Na slici 2-4 je prikaz kako bi pametna energetska mreža trebala izgledati. Ona bi uključivala proizvodnju iz obnovljivih izvora energije, poput solarnih i vjetroelektrana, zatim integraciju PtG (engl. *Power to gas*) tehnologije koja uključuje procese elektrolize i metanizacije, a što za posljedicu ima utiskivanje vodika i obnovljivog metana u mrežu, potom utiskivanje bioplina i biometana (pročišćeni bioplin do kvalitete metana) u mrežu, povezivanje UPP brodova s transportnim sustavom, integraciju plinificiranog komunalnog otpada (kružna ekonomija gdje se otpad koristi kao sirovina za proizvodnju biometana koji se onda utiskuje

u mrežu) te biomase, gorive ćelije. Naravno, sve informacije o količinama potrošnje navedene vrste plina unutar pametne mreže bile bi dostupne putem pametnog plinskog brojila.

Do danas su provedeni određeni pilot projekti integracije pametnih plinskih mreža u pametne gradove. Projekti **West Grid Synergy** (cilj je povećati proizvodnju iz obnovljivih izvora energije, OIE), **Nice Smart Valley** (cilj je testirati potencijale i razviti povezanost pametnih plinskih proizvoda, npr. dizalice topline), **GRHYD** (cilj je ispitati utiskivanje vodika u distribucijski sustav) samo su neki od primjera. Ipak, općeniti je cilj svih projekata te uvođenja pametne plinske mreže zapravo optimizirati potrošnju energije i potaknuti potrošače na upravljanje vlastitom energetsom potrošnjom.



Slika 2-4. Pametna energetska mreža (Marcogaz, 2015)

2.4 VRSTE KOMUNIKACIJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U PAMETNOJ MREŽI

Sposobnost komunikacije je ključna komponenta pametnih brojila koja omogućava primanje, prijenos i obradu podataka, ali i primanje uputa za obavljanje određenih radnji. Kako komunikacijski sklop ne bi spriječio pravilan rad ostalih sklopova pametnih brojila, neovisan je te tako omogućava pametnom brojilu normalno mjerenje i pohranu podataka čak i kad se veza izgubi. U tom slučaju naravno, prijenos podataka može se nastaviti tek nakon ponovne uspostave veze. Vrste komunikacijskih tehnologija koje se koriste za prijenos podataka između centralne upravljačke jedinice i pametnog brojila se dijele na žične i bežične tehnologije, međutim, kod plinskih pametnih brojila moguća je samo bežična komunikacija. Bežična komunikacija ima veću mogućnost kašnjenja te je manje pouzdan način povezivanja. Ipak, bežične komunikacijske tehnologije postaju sve razvijenije, češće i nude veći domet, kraće vrijeme odziva, kao i široku pokrivenost čak i na teško dostupnim mjestima, primjerice u ruralnim područjima ili podruma.

Glavni uvjeti koji određuju odabir pojedine bežične tehnologije su:

- pouzdanost prijena podataka,
- količina podataka koja se može prenijeti,
- broj dnevnih prijena,
- pokrivenost mreže,
- cijena prijena podataka,
- podaci o satnoj potrošnji,
- programska rješenja za očitavanje i dostavu podataka,
- životni vijek brojila,
- montaža i eksploatacija opreme.

Daljinsko očitavanje podataka, s obzirom na način prijena podataka, sadrži osnovnu podjelu mjerne opreme na:

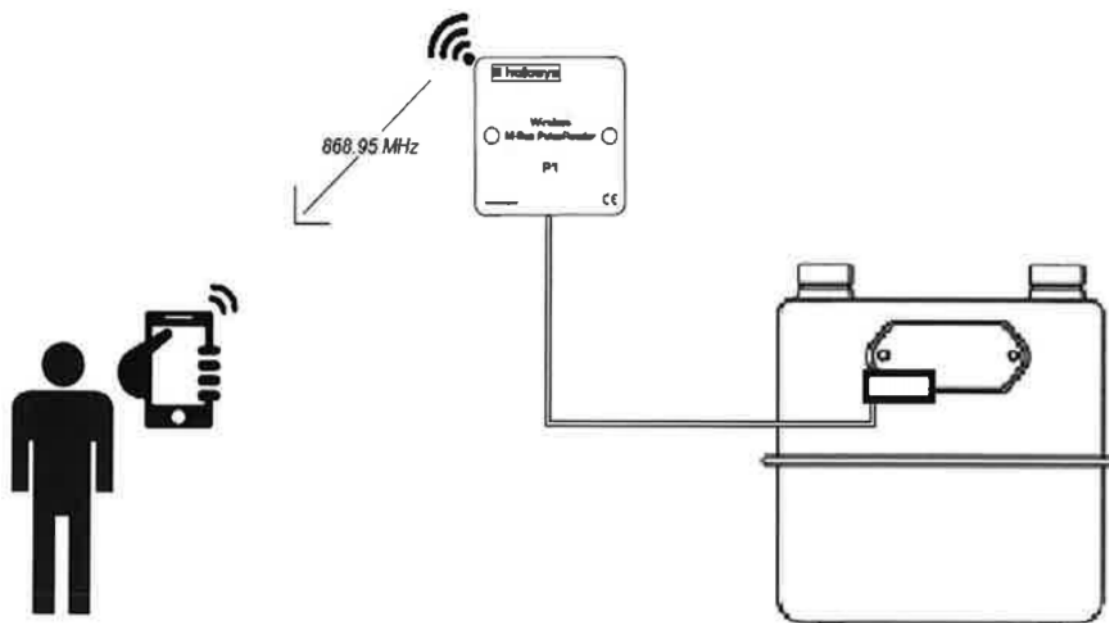
1. Radio frekvencijski RF modul (frekvencija 169MHz, ili 868MHz)
2. Stanična tehnologija (2G/2.5G/GPRS/GSM)
3. Niskoenergetska širokopolasna bežična tehnologija (SIGFOX, LoRa)
4. NB (engl. *Narrowband*) IoT tehnologija.

Radio frekvencijski RF modul

Mjerna oprema koju koristi ova tehnologija obuhvaća:

1. **Plinsko pametno brojilo** - u sebi ima ugrađen RF modul za prijenos podataka
2. **Modul za radijsko očitavanje** – uzima podatke očitane s postojećeg pametnog brojila i prenosi ih radio frekvencijskim modulom; modul treba imati „reed kontakt“ koji mu omogućuje priključenje na plinsko brojilo putem davača impulsa, ili može biti priključen izravno na brojilo (u slučaju kad je ugrađen kompaktni radijski modul s integriranim beznaponskim impulsnim kontaktom)
3. **Koncentrator** – daljinsko očitavanje izvodi se pomoću radioprijemnika i prijenosnog računala koji ostvaruju vezu s radijskim modulom, prikupljanje očitanih podataka s više pametnih brojila ili modula te slanje istih na poslužitelj kojemu tvrtka ima pristup.

Na slici 2-5 nalazi se oprema za očitavanje potrošnje plina koristeći RF modul frekvencije 868 MHz.



Slika 2-5. Oprema za očitavanje potrošnje plina koristeći RF modul – frekvencija 868MHz (Gradska plinara Zagreb, 2018.)

Komunikacijski standardi koji ovdje pripadaju su IEEE 802.15 (ZigBee, Bluetooth, 6LoWPAN), IEEE 802.11 (Wifi), Wize.

Stanična tehnologija (2G/2.5G/GPRS/GSM)

Mjerna oprema koju koristi ova tehnologija obuhvaća:

1. **Plinsko pametno brojilo** – u sebi ima ugrađen GPS modul
2. **Mjerni uređaj (elektronski kolektor)** – u sebi ima ugrađen GSM/GPRS modul
3. **Moduli** – prijenos očitanih podataka s plinskog brojila GSM/GPRS modulom.

2G mobilne mreže obično pružaju podatkovne usluge brzinom do nekoliko desetaka kilobita u sekundi (engl. *kpbs, kilobit per second*). Podatkovne usluge prilagođene su većini telemetrija i aplikacijama za daljinsko očitavanje. Globalni sustav mobilne komunikacije (engl. GSM, *global system for mobile communications*) je najrašireniji standard, odnosno mobilna mreža, na koju se mobilni uređaji povezuju pretraživanjem ćelija u neposrednoj blizini. Četiri su frekvencijska opsega na kojima mreža djeluje: 850 MHz, 1.900 MHz, te najčešće korišteni 900 MHz i 1.800 MHz. Paketna, bežična podatkovna komunikacijska usluga (engl. GPRS, *general packet radio service*) (poslužitelj na 2G i 3G mreži) je napredna GSM mreža koja omogućava brži prijenos podataka kroz mobilnu mrežu. GPRS je mreža razvijena s ciljem da zamijeni usluge s prespajanjem kanala dostupne u GSM mrežama druge generacije.

Na slici 2-6 prikazan je način korištenja komunikacijske tehnologije GPRS/GSM. Podaci se s mjernog uređaja prenose putem GPRS/GSM mreže do sustava AVE 2. Navedeni sustav je softver koji automatski očitava, odnosno preuzima podatke za korektore plinskog volumena, a svoju je primjenu našao u distribuciji, trgovini te upravljanju energijom.



Slika 2-6. Način funkcioniranja GPRS/GSM tehnologija (Energetika.net 2018)

Niskoenergetska širokopoljasna bežična tehnologija (SIGFOX, LoRa)

SIGFOX je niskoenergetska širokopoljasna bežična tehnologija razvijena u Francuskoj koja omogućava komunikaciju uz primjenu industrijskog, znanstvenog i medicinskog frekvencijskog raspona (engl. ISM, *Industrial, scientific and medical*) koji radi (u Europi) na 868 MHz. S vrlo malom propusnošću, podatkovne poruke do 12 bitova (uplink) ili 8 bitova (downlink) mogu se razmijeniti na udaljenostima do 40 kilometara na otvorenom polju i duboko prodrijeti u zgrade ili pod zemlju, uz visoku pouzdanost i vrlo nisku predvidljivu energetska potrošnju.

LoRa (engl. *Long Range*) je IoT (engl. *Internet of things*) digitalni bežični komunikacijski protokol koji omogućava prijenos podataka na velikim udaljenostima, čak i preko deset kilometara u ruralnim područjima, uz malu energetska potrošnju. Djeluje na nelicenciranom frekvencijskom pojasu (u Europi) od 169 MHz, 433 MHz i 868 MHz. Tehnologija se sastoji od dva dijela: LoRa fizički sloj i LoRaWAN gornji sloj. LoRa fizički sloj, iako dostupan u službenoj komunikaciji, javnosti je nedostupan. LoRaWAN upravlja komunikacijskim frekvencijama, brzinom prijenosa podataka i snagom za sve uređaje.

NB (engl. Narrowband) IoT

NB-IoT predstavlja novu mrežnu tehnologiju namijenjenu uređajima koji šalju male količine podataka i nemaju potrebe za stalnom mrežnom povezanošću. Tehnologija je pogodna za primjenu u rješenjima kao što su, primjerice, pametno parkiranje, pametna brojila, pametne kuće, upravljanje otpadom. Prednosti su niski troškovi, jednostavan komunikacijski modul koji omogućava izravno povezivanje senzora i ostalih uređaja na mobilnu mrežu, mala energetska potrošnja gdje baterija može izdržati čak 10 godina, te niska cijena. Tehnologija osigurava odličnu kvalitetu mobilnog signala i rasprostranjenost u zatvorenim prostorima, što je vrlo važno za teško dostupna plinska brojila. To je LPWAN (engl. *Low-Power Wide-Area Network*) radio tehnologija koja omogućava širok raspon usluga i mobilnih uređaja.

3. PREDNOSTI I NEDOSTACI UGRADNJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA

Usprkos tome što pametna plinska brojila donose mnogobrojne prednosti, ipak postoji i ona negativna te manje poželjna strana ovih uređaja. U nastavku će biti dan pregled dobrih i loših strana pametnih plinskih brojila.

3.1 PREDNOSTI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA

Brojne su prednosti koje pružaju pametna brojila, a rezultat su dugotrajnih tehnoloških unaprjeđenja i digitalizacije. Prema istraživanju koje je provela Europska komisija, četiri su vrlo važna pokretačka faktora za uvođenje pametnih plinskih brojila na tržište:

1. Digitalizacija distribucijskog sustava i optimizacija mrežnih operacija;
2. Digitalizacija maloprodajnog tržišta za poticanje inovacija i novih usluga privatnih sudionika;
3. Djelovanje s ciljem suzbijanja energetske siromaštva (engl. *Fuel poverty*);
4. Povećanje energetske učinkovitosti.

Ovi pokretački faktori doneseni su temeljeno na državama članicama EU-28 koje su provele barem jednu CBA analizu (Austrija, Belgija, Češka Republika, Finska, Francuska, Njemačka, Irska, Italija, Latvija, Litva, Luksemburg, Nizozemska, Rumunjska, Slovačka Republika, Slovenija, Španjolska, Ujedinjeno Kraljevstvo) za implementaciju pametnih plinskih brojila. U većini država članica, najvažniji čimbenik za realizaciju projekta bila je digitalizacija plinskog distribucijskog sustava kako bi se omogućila njezina sigurnost i stabilnost kroz optimizaciju. Ustanovljeno je da povećanje energetske učinkovitosti i nije toliko važan pokretač za uvođenje pametnih plinskih brojila.

U državama članicama EU-a koje su provele barem jednu CBA analizu za implementaciju plinskih pametnih brojila, poredak razmatranih prednosti kroz uštedu upotrebom plinskih pametnih brojila i broj država članica koje su razmatrale prednosti kroz uštedu, može se vidjeti na grafičkom prikazu 3-1 (Tounquet, F. et al., 2019).

Najčešća korist koju zemlje članice ostvaruju dolazi s uštedama na očitavanju brojila i operativnim uštedama koje se mogu postići daljinskim očitavanjem brojila i smanjenjem računa potrošača kao rezultat povećane energetske učinkovitosti. Rješavanje netehničkih

gubitaka (npr. administrativni gubici, prijevare) sljedeća je glavna korist, nakon čega slijede manji tehnički gubici te upravljanje i održavanje imovinom. Na posljednjem mjestu je ušteda uzrokovana zagađenjem zraka (čestice, NO_x , SO_2). Isto tako, kako je ODS u gotovo svim državama članicama odgovoran za implementaciju pametnih plinskih brojila, glavne pogodnosti koje on ostvaruje su uštede na očitavanju brojila i operativne uštede. Prednost za ODS-ove je svakako i pravovremeno otkrivanje prijevara i krađa, odnosno ilegalne potrošnje plina iz mreže. Ostale pogodnosti za ODS poput upravljanja prekidom rada i povećane konkurencije, potaknute povećanjem transparentnosti cijena, razmatrane su u manjoj mjeri (Tounquet, F. et al., 2019).



Grafički prikaz 3-1. Poredak razmatranih prednosti kroz uštedu upotrebom plinskih pametnih brojila i broj država članica koje su razmatrale prednosti kroz uštedu (Tounquet, F. et al., 2019)

Prednosti plinskih pametnih brojila mogu se kvantificirati na različite načine. Svaki sudionik na tržištu plina razvojem tehnologije ostvarit će neku korist, međutim, najvažnije prednosti koji idu uz pametna plinska brojila mogu se svesti na sljedećih pet (Dražen Guberac, 2020):

1. Povećanje energetske učinkovitosti

Rezultati provedenog istraživanja *How smart do smart meters need to be?* pokazali su da je upotrebom pametnog brojila došlo do smanjenja srednje sobne temperature s $22,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ na $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, kao i smanjenja potrošnje plina za čak 22% ukupno, tj. 27% kod velikih potrošača. Isto istraživanje pokazalo je povećanje energetske osviještenosti s 0,52 na 1,28 na skali od 0-4.

2. **Bolja naplata plina**

Pametna plinska brojila u sebi imaju ventil za zatvaranje ukoliko dođe do potrebe za isključenjem korisnika s mreže. Primjerice, hrvatski ODS Termoplin d.d. iz Varaždina imao je problem s naplatom, da bi nakon ugradnje pametnih plinskih brojila kod prvih 1.000 korisnika naplata skočila s 50% na 80%, a trenutna im je naplata na 90%.

3. **Povećanje kvalitete mjerenja potrošnje plina**

Veća točnost i preciznost mjerenja potrošnje plina kroz pravovremene povratne informacije i automatsko utvrđivanje pogrešaka. Mehanička brojila imala su problem s netočnim mjerenjem, budući da plin uvijek ima zrnca prašine, a koja oni nisu mogli detektirati. Pogrešno mjerenje količine plina ide na štetu ODS-u, a pogreška je iznosila čak 3-15% (veća ili manja detektirana količina plina). Novom generacijom ultrazvučnih plinomjera uklonjen je problem habanja mehaničkih dijelova. Jedan od provedenih pilot projekata pokazao je da nakon što je 20.000 m³ plina prošlo kroz pametno brojilo, pogrešnost očitavanja iznosila je samo 0,01%, što potvrđuje da brojilo nije izgubilo na točnosti.

4. **Gubitak manipulacije**

Potrošači se koriste različitim manipulacijama kako bi „prevarili” distributere “smanjivši” vlastitu potrošnju. Primjeri manipulacija su stavljanje magneta na brojilo čime se usporava ili zaustavlja vrtnja broјčanika koji mjeri potrošnju plina te bušenje rupice na staklu plinskog brojila kako bi se zaustavila potrošnja. Takve prijevare na plinskoj mreži mogu biti jako opasne te naštetiti sigurnosti potrošača, stoga je potrebno vršiti stalnu kontrolu plinske mreže. Također, i svaka manipulacija ide na štetu ODS-u. Pametno plinsko brojilo ima mogućnost detekcije svakog pokušaja skidanja poklopca s plinskog brojila što olakšava ODS-u prekid daljnje isporuke plina prema počinitelju. Primjenom pametnih brojila omogućeno je rješavanje više od 90% svih oblika manipulacija.

5. **Otkrivanje istjecanja i udara duž plinovoda**, omogućavajući obustavljanje protoka plina u nepredvidivom slučaju (npr. seizmičke aktivnosti ili nekontrolirano istjecanje plina).

Uzimajući sve navedeno u obzir, glavne prednosti uvođenja pametnih plinskih brojila su:

- manji troškovi očitavanja brojila i uklanjanje potrebe za dolaskom djelatnika operatora distribucijskog sustava na mjesto potrošnje za očitavanje brojila,

- optimizacija transportnog i distribucijskog plinskog sustava,
- manja potrošnja plina zbog smanjene i promjenjive potražnje,
- daljinsko uključenje/isključenje potrošača ovisno o njegovom podmirivanju računa,
- višestruke opcije i mogućnost plaćanja unaprijed (engl. *prepayment*),
- lakši postupak promjene opskrbljivača,
- bolja detekcija neuračunatih količina plina (otkrivanje prijevара i krađa, točnija i preciznija očitavanja brojila),
- ušteda emisija ugljika.

3.2 NEDOSTACI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA

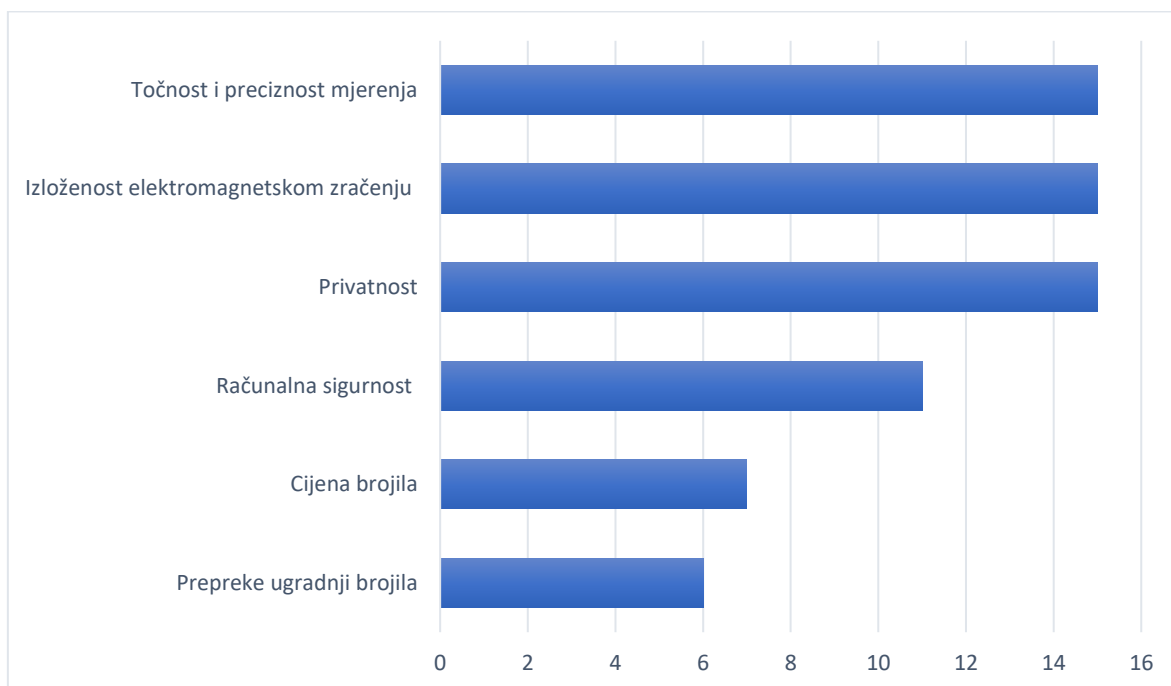
Iako imaju više prednosti, pametna plinska brojila imaju i svoje mane pa države članice EU i dalje razmatraju opravdanost implementacije pametnih brojila, najviše kroz provođenje CBA analiza isplativosti.

Nedostatak koji je utvrđen u Velikoj Britaniji gdje starije verzije pametnih brojila gube pametnu funkciju nakon promjene opskrbljivača. Trenutno, prva generacija pametnih brojila u Velikoj Britaniji, tzv. SMETS1 (engl. *Smart Metering Equipment Technical Specification*) prilikom promjene opskrbljivača, gubi svoju pametnu funkciju i ne može promijeniti „adresu“ dostave očitanih podataka. Razlog tomu je što SMETS 1 šalje očitavanja brojila opskrbljivačima sa SIM kartice koja se nalazi unutar brojila budući da nema standardiziranog sustava. Međutim, 29. svibnja 2019. godine započelo je povezivanje brojila prve generacije za komunikaciju putem iste mreže, tako da neće biti potrebe za promjenom uređaja. Druga generacija brojila, SMETS2, nema problem gubitka pametne funkcije prilikom promjene opskrbljivača, što potrošačima pruža fleksibilnost promjene opskrbljivača bez gubitka pametnih značajki. Još jedan nedostatak je nedovoljna točnost i preciznost zaslona za prikaz potrošnje. Prilikom prebacivanja sa SMETS1 brojilom, IHD bi trebao nastaviti prikazivati potrošnju energije i vršiti očitavanja bez potrebe za pristupom brojilu, no njihova sposobnost komuniciranja s pametnim brojilom može biti nedosljedna, a u pojedinim slučajevima, prestaju raditi u potpunosti.

Najviše država članica Europske unije razmatralo je probleme točnosti i preciznosti mjerenja energetske potrošnje, odnosno točnosti i preciznosti zaslona za prikaz potrošnje, aplikacije i mrežne stranice za praćenje podataka o potrošnji energije, zatim izloženost elektromagnetskom zračenju, kao i problem narušavanja privatnosti te zaštite podataka.

Najmanje država članica Europske unije razmatralo je problem potencijalnih prepreka i poteškoća ugradnji brojila (Tounquet, F. et al., 2019).

Grafički prikaz 3-2 prikazuje probleme upotrebe pametnih brojila u državama članicama EU u odnosu na broj država članica koje su razmatrale probleme (Tounquet, F. et al., 2019).



Grafički prikaz 3-2. Problemi upotrebe pametnih brojila u odnosu na broj država članica koje su razmatrale probleme (Tounquet, F. et al., 2019)

Kao najvažniji nedostaci plinskih pametnih brojila, navode se sljedeći (Dražen Guberac, 2020):

1. Visok kapitalni trošak, odnosno cijena pametnog brojila

Cijena mehaničkog plinskog brojila kreće se između 250 - 450 kn, dok je cijena pametnih plinskih brojila između 900 – 1.300 kn. Pametna brojila imaju dodatni trošak prijenosa podataka od 3 kn/mjesečno/OMM, međutim, taj trošak se može kompenzirati troškom kod mehaničkih brojila za očitavanje potrošnje, a čija je naknada 2-4 kn/mjesečno/OMM. Pametna brojila posjeduju još i softver koji se kod pojedinih proizvođača dodatno naplaćuje, dok je kod nekih besplatan.

Ipak, prethodnici pametnih brojila imali su trošak slanja djelatnika operatora distribucijskog sustava na mjesto očitavanja. Pilot projektom lokalne distribucijske tvrtke provedenim 2015. godine navodi se da su djelatnici operatora distribucijskog sustava čak

88 radnih dana bili na terenu, što je stvorilo doista velik trošak koji uključuje radne sate, transportne troškove i sl.

2. **Nerazvijenost IT (engl. *information technology*) sektora**

Pilot projektima ustanovljena je jako mala informatička pismenost stanovništva Republike Hrvatske što stvara problem za postizanje energetske učinkovitosti. Eurostatovi statistički podaci za 2019. godinu pokazuju da pristup internetu u RH ima 81% kućanstava što je ispod prosjeka EU (90%) (<https://ec.europa.eu/eurostat>, 2019). Ipak, ova mana može se gledati i s pozitivne strane. Naime, potrošačima bi praćenje vlastite potrošnje bila prilika i dovoljan razlog za stjecanje novih znanja i vještina kroz povećanje informatičke pismenosti. Također, sektoru informatičke tehnologije može predstavljati izazov za razvoj i stavljanje na tržište novih aplikacija te predstavlja priliku za dodatnu zaradu. Konačno, razvoj informatičke pismenosti predstavlja pozitivan iskorak za zajednicu i društvo u cjelini, dok ODS -ovima ne predstavlja nikakav gubitak.

3. **Kratak vijek baterije**

Također, problem koji se javlja kod plinskih pametnih brojila je kratak vijek baterije, zbog čega ih je potrebno učestalo mijenjati. Uz to, vijek trajanja baterije plinskih pametnih brojila ograničava količinu i učestalost slanja podataka. Osim brojila, zaslon za prikaz potrošnje isto tako ima kratak vijek baterije.

4. **Rizik od zaštite privatnosti i zaštite podataka**

Potencijalni kibernetički napadi, zabrinutost potrošača zbog nepoznavanja s kime dijele vlastite podatke (ODS ili treća strana može upotrebljavati korisnikove podatke), hakiranje podataka, zlonamjerni softveri, ostali rizici koji ugrožavaju sigurnost. Štoviše, pomoću podataka o potrošnji energije ostali sudionici na tržištu mogu znati, primjerice je li i kada netko kod kuće zbog čega se kod potrošača javlja opravdani strah od provala.

5. **Slab signal**

Lokacija brojila često ograničava prijenos signala, a posljedica nedovoljno jakog signala je nepotpuna točnost izmjerenih podataka u stvarnom vremenu.

Velika Britanija polako zamjenjuje brojila prve generacije uređajima druge generacije te se tako uklanja nedostatak gubitka pametne funkcije nakon promjene opskrbljivača. Vrlo je važno da i ostale države prate i djeluju sukladno europskim propisima, aktiviraju se u provođenju CBA analiza kako bi utvrdile isplativost programa uvođenja pametnih plinskih brojila i skladno tome, krenule u projekt implementacije.

4. STAJALIŠTA I ZAKONODAVSTVO EUROPSKE UNIJE TE PERCEPCIJA JAVNOSTI O IMPLEMENTACIJI PAMETNIH BROJILA

Trenutno živimo u razdoblju u kojem je potražnja za energijom u drastičnom usponu, kako u EU, tako i u svijetu. Stoga je vrlo važno osigurati energetska dostupnost, uvesti rješenja u skladu s konceptom Energy 4.0 te podržati razvoj pametnih tehnologija. Koncept Energy 4.0: digitalna transformacija u energetske i komunalnoj industriji (engl. *Energy 4.0: digital transformation in energy & utilities industry*) dio je četvrte industrijske revolucije, a uključuje razvoj i stavljanje na tržište pametnih tehnologija, pa prema tome obuhvaća i pametna brojila. Svaka država članica Europske unije mora u svoje zakonodavstvo implementirati programe i ciljeve donesene od strane EU-a, Europske komisije i Europskog vijeća. Upravo zakonodavstvo ima vrlo veliku ulogu jer nameće potrebu zamjene tradicionalnih (mehaničkih) plinskih brojila, pametnim brojlama.

4.1 STRATEGIJA I REGULATIVE EUROPSKE UNIJE

Prvi strateški propis vezan uz uvođenje pametnih brojila u države članice Europske unije bila je Direktiva 2006/32/EZ o krajnjoj energetske potrošnji i energetske uslugama. Direktiva je propisala uporabu ekonomičnih tehnoloških inovacija kao što je "elektroničko mjerenje" kako bi se u devet godina od donošenja direktive postigao cilj uštede energije od 9%. Ova direktiva predstavljala je prvi korak ka povećanju aktivnosti kupaca u mjerenju energetske potrošnje.

Usvajanjem Trećeg energetske paketa (engl. *Third Energy Package*) 2009. godine, države članice Europske unije obvezale su se implementirati Direktivu o prirodnom plinu (*Direktiva 2009/73/EZ*). Prema navedenoj Direktivi, članice EU-a trebale bi implementirati sustave pametnog mjerenja plina dinamikom kojom je to financijski opravdano i tehnički moguće, a što ovisi o razvijenosti plinske infrastrukture. Navedene direktive propisale su da države članice i regulatorna tijela preporuča sudionicima na energetske tržištu optimizaciju potrošnje energije, između ostalog, implementacijom pametnih mjernih sustava ili pametnih mreža, gdje je to prikladno.

U kontekstu razvoja pametnih mreža, Preporuka Komisije od 9. ožujka 2012. godine o pripremama za implementaciju pametnih mjernih sustava definira sustav pametnog mjerenja kao „elektronički sustav koji može mjeriti potrošnju energije, pružanjem veće količine

informacija od konvencionalnog brojila, i koji može primati i prenositi podatke elektroničkom komunikacijom” Istim su dokumentom obrađena tri glavna pitanja:

- 1) zaštita i sigurnost osobnih podataka,
- 2) dugoročna ekonomska procjena,
- 3) detaljan opis zajedničkih minimalnih funkcionalnosti pametnih brojila (navedeni u tablici 4-1).

Direktivom 2012/27/EC o energetske učinkovitosti propisano je ostvarenje energetske uštede od 20% do 2020. godine, kao i važnost jasno određenih zahtjeva Unije.

Direktiva 2014/32/EU o usklađivanju zakonodavstava država članica u odnosu na stavljanje na raspolaganje mjernih instrumenata na tržištu ukinula je raniju Direktivu 2004/22/EZ čiji je cilj bio utvrditi zahtjeve koje mjerni instrumenti moraju ispuniti kako bi bili dostupni na tržištu.

Tablica 4-1. Minimalni funkcionalni zahtjevi za uvođenje pametnih mjernih sustava (European Commission, 2014a)

Područje	Minimalni funkcionalni zahtjevi
Potrošač	(1) Pružanje očitavanja izravno kupcu i bilo kojoj trećoj strani koju odredi potrošač
	(2) Ažuriranje očitavanja navedenih u točki (a) dovoljno često da se informacije mogu koristiti za postizanje energetske uštede
	(3) Dopustiti operatoru daljinsko očitavanje brojila
Mjerni operator	(4) Omogućiti dvosmjernu komunikaciju između sustava pametnog mjerenja i vanjske mreže za održavanje i kontrolu sustava mjerenja
	(5) Omogućiti dovoljno česta očitavanja da bi se informacije mogle koristiti za mrežno planiranje
Komercijalni aspekti opskrbe energijom	(6) Podržati napredne tarifne sustave
	(7) Omogućiti daljinsko upravljanje/isključivanje napajanja i/ili ograničenja protoka/snage
Sigurnost i zaštita podataka	(8) Osigurati sigurnu podatkovnu komunikaciju
Decentralizirana proizvodnja	(9) Osigurati uvoz / izvoz

Europska komisija u studenom 2016. godine predstavila je paket mjera nazvan Čista energija za sve Europljane (engl. *Clean Energy For All Europeans Package*). Paket se sastoji od osam zakonodavnih akata, a tri su glavna cilja: energetska učinkovitost na prvome mjestu, preuzimanje globalnog vodstva u iskorištavanju energije iz OIE te pružanje poštenih i

nediskriminirajućih uvjeta potrošačima. Stoga, pametna plinska mreža i pametna brojila za mjerenje plinske potrošnje usklađeni su s navedenim paketom.

Ipak, pomalo začuđujuće zvuči činjenica da na razini EU još nije utvrđena regulativa koja postavlja ciljeve smanjenja emisija ugljika implementacijom pametnih brojila, a s obzirom da EU ima za cilj do 2050. godine postati ugljično neutralna.

4.2 ZAKONSKI PROPISI ZA ZAŠTITU I SIGURNOST PODATAKA

Zakonski propisi Europske unije, Europske komisije i Vijeća vrlo su rigorozni po pitanju zaštite i sigurnosti podataka. Smatra se da je jedan od problema koji dolazi s implementacijom pametnih brojila upravo narušavanje privatnosti te zaštite podataka. Navedena problematika vrlo je osjetljiva tema i države članice EU moraju svoje prijedloge zakona za implementaciju pametnih brojila uskladiti sa zakonima koje su europske institucije stavile na snagu. Prvi propis koji je vrlo važno poznavati je da sustavi pametnog mjerenja trebaju biti u skladu s važećim Pravilima Unije o zaštiti podataka (engl. *Union data protection rules*).

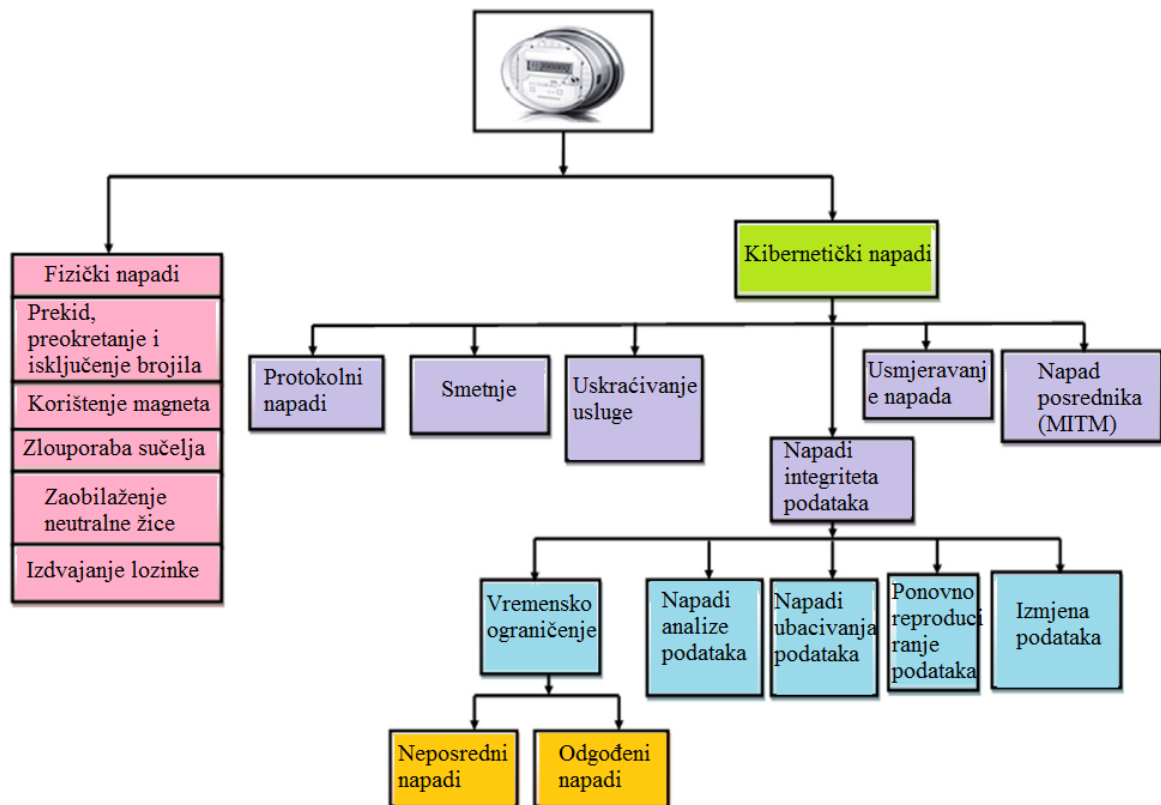
Članak 8. Europske konvencije o ljudskim pravima (engl. *Article 8 of the European Convention on Human Rights*) smatra se jednom od najotvorenijih odredbi Konvencije. Navedeni članak pruža pravo na poštivanje privatnog i obiteljskog života, uz određena ograničenja koja su zakonski usklađena i neophodna u demokratskom društvu. Isto tako, u istom se navodi da se “*javno tijelo ne smije miješati u ostvarenje ovog prava, osim onoga što je u skladu sa zakonom i potrebno je u demokratskom društvu u interesu nacionalne sigurnosti, javne sigurnosti ili ekonomskog blagostanja zemlje za sprečavanje nereda ili kriminala, za zaštitu zdravlja ili morala ili za zaštitu prava i sloboda drugih*” (Europska konvencija o ljudskim pravima, 4. studenog 1950).

Kako bi pomogla državama članicama u boljoj pripremi za razvoj sustava pametnog mjerenja, Komisija je 2012. godine predložila smjernice u skladu s Preporukom 2012/148/EU koje su, među ostalim, uključile razmatranja o sigurnosti i zaštiti podataka. Nakon toga, uslijedila je i Preporuka Komisije 2014/724/EU kojom su uvedene mjere za promicanje uporabe Predložka procjene utjecaja na zaštitu podataka (nazvanih „*predložak DPIA*“, *Data Protection Impact Assessment Template*), razvijene na razini EU, s ciljem osiguranja temeljnih prava na zaštitu osobnih podataka i privatnosti u razvoju aplikacija i sustava pametnih mreža i implementaciji pametnog mjerenja (Tounquet, F. et al., 2019).

Opća uredba o zaštiti podataka, Uredba (EU) 2016/679 najstroži je propis o privatnosti, a u njemu se, između ostalog, navodi da podatkovni subjekt „*ima pravo primati osobne podatke koji se tiču njega i koje je on ili ona dostavio regulatoru, u strukturiranom, često korištenom i strojno čitljivom formatu te ima pravo proslijediti te podatke drugom regulatoru*”. To znači da podaci dobiveni s pametnog brojila moraju biti dostupni potrošaču s vlastitom proizvodnjom, koji zauzvrat ima pravo dijeljenja istih s trećom stranom.

Također, Treći energetske paketi navodi da potrošači imaju pravo dobiti sve relevantne podatke o vlastitoj potrošnji. Nova direktiva o izmjeni Trećeg energetske paketa usvojena 2019. godine biti će prenesena u nacionalno zakonodavstvo svih država članica EU-a do 31. prosinca 2020. godine. Isti okvir navodi da krajnji potrošač ima pravo dobiti sve relevantne podatke o odgovoru na potražnju ili podatke o isporučenoj i prodanoj energiji, besplatno, najmanje jednom u svakom obračunskom razdoblju. Isto tako, potrošač može povjeriti trećoj strani upravljanje sustavom potrebnim za njegove aktivnosti, uključujući instalaciju, rad, rukovanje podacima i održavanje sustava, a da se treća strana ne smatra aktivnim potrošačem.

Slika 4-1 prikazuje različite vrste ugrožavanja pametnog brojila, koje narušavaju njegovo normalno funkcioniranje. Tu se navode mogući problemi zaštite i sigurnosti podataka koji mogu narušiti osobna ljudska prava.



Slika 4-1. Različiti načini ugrožavanja pametnog brojila (Sharma, K., & Mohan Saini, L., 2015)

Pametna brojila zahtijevaju potpunu sigurnost i zaštitu u svom cjelokupnom životnom ciklusu te trebaju ispuniti četiri sigurnosna zahtjeva (Sharma, K., & Mohan Saini, L., 2015):

1. ispravnost uređaja (engl. *Device authenticity*),
2. povjerljivost podataka (engl. *Data confidentiality*),
3. ispravnost i cjelokupnost podataka (engl. *Data authenticity and integrity*);
4. privatnost i sigurnost potrošača (engl. *Consumer privacy and security*).

Sklonost fizičkim i kibernetičkim napadima koji dovode do krađe podataka ili plina te oštećenje infrastrukture, problemi su s kojima se ODS-ovi trebaju baviti. Otkako je tehnološki napredak omogućio prijenos energije na šire područje, pa čak i različite vremenske zone, krađe su se pokazale kao velik problem. Senzori pametnih brojila omogućuju ODS-ovima točno određivanje gubitaka i neovlaštene potrošnje, istovremeno dopuštajući samim potrošačima praćenje nepravilnosti, pa čak i krađa s velikom točnošću. Samim time, tehnologija je odgovorna za povećanu pojavu neovlaštenog pristupa plinu, ali ujedno i za sigurnosne mjere kako bi se potencijalni problemi mogli spriječiti. Međutim,

najveća opasnost za pametnu plinsku mrežu dolazi upravo od potrebne infrastrukture – ondje su milijuni razmještenih i integriranih uređaja. Upravo zbog toga, pametna plinska mreža mora pouzdano pratiti veliki broj uređaja i imati savršenu svijest o cijelom sustavu kako bi ga održala sigurnim (Avancini et al, 2019).

4.3 PERCEPCIJA JAVNOSTI O IMPLEMENTACIJI PAMETNIH PLINSKIH BROJILA

Mišljenje javnosti o implementaciji pametnih tehnologija, a samim time i sustava pametnog mjerenja plinske potrošnje, podijeljeno je. Dok pobornici smatraju da će nove tehnologije donijeti mnogobrojne prednosti (svijest o vlastitoj potrošnji plina, energetske uštede, daljinska očitavanja brojila), protivnici su pak mišljenja da ona negativno utječe na svakodnevni život. U ovom su odjeljku dani konkretni primjeri različitih analiza te istraživačkih projekata provedenih u pojedinim državama EU-a, ali u Ujedinjenog Kraljevstva (u daljnjem tekstu: UK), a upravo na temu implementacije pametnih tehnologija, prvenstveno pametnih plinskih brojila.

U studenom 2016. godine, britanski Populus je, uz prethodnu zamolbu Smart Energy GB-a proveo istraživanje o tome koliko ljudi zapravo poznaju pametno brojilo te da li i kako pametna brojila i razumijevanje pametnog brojila mijenja ponašanje energetskih potrošača. Razumijevanje je definirano kao poznavanje tri ključne činjenice o pametnim brojilima: da ih ugrađuju opskrbljivači (engl. *supplier*), da njihovom implementacijom prestaje procjena računa o energetske potrošnji i da korisniku pokazuju točan iznos potrošnje. U istraživanju je sudjelovalo 2.557 ispitanika, a obuhvatilo je korisnike koji su imali pametno brojilo i njihova stajališta o tome kako su promijenili ponašanje i pomoću pametnog brojila smanjili energetske potrošnje, zatim one koji još nisu imali pametno brojilo, ali su razumjeli što je, te posljednju grupu koja nije imalo spoznaju o pametnom brojilu.

Rezultati provedenog istraživanja bili su sljedeći (www.smartenergygb.org, 2017):

- 1.028 ispitanika nije znalo što je pametno brojilo,
- 1.028 ispitanika razumjelo je što je pametno brojilo, ali ga nije posjedovalo,
- 501 ispitanik imao je pametno brojilo.

Isto tako, Geelen, D. et al. su 2019. godine u Nizozemskoj završili dvogodišnje istraživanje o upotrebi aplikacija za dobivanje povratnih informacija o potrošnji energije upotrebom pametnih brojila. U prvom istraživanju, za razdoblje od 16 mjeseci, izmjerene su razine potrošnje plina i električne energije za 519 kućanstava podijeljenih u skupinu korisnika aplikacije i referentnu skupinu. Druga anketa, kojom je obuhvaćeno 270 korisnika, pružila je uvid u način na koji su ljudi koristili aplikacije i u kojoj mjeri su one povećale uvid kućanstava u vlastitu potrošnju energije, ali i potaknule promjene ponašanja. U trećem su pak istraživanju provedeni intervjui sudionika kako bi se dobila što jasnija percepcija, a rezultati su bili sljedeći:

- 1) u prvom istraživanju nije bilo značajnijeg smanjenja potrošnje plina i električne energije,
- 2) korisnici aplikacija bili su energetski osvješteniji te su ostvarili veća ulaganja i promjene u ponašanju u odnosu na referentnu skupinu,
- 3) u intervjuima je navedeno da se aplikacija koristila više za praćenje potrošnje nego za njezino smanjenje.

Ipak, promjena ponašanja u budućnosti vjerojatno će biti najviše uvjetovana volatilnošću cijena u kratkom razdoblju (npr. jedan dan) za krajnjeg potrošača.

U Velikoj Britaniji, provedeno je istraživanje nakon implementacije iBert sustava 2016. godine. iBert sustav je nova aplikacija koja pruža povratne informacije o energetske potrošnji, kao i savjete s ciljem ostvarenja financijskih i energetske ušteda. Naime, nakon završetka dvogodišnjeg projekta, sudionici su ispunjavali anketu o energetske pismenosti i korisničkom iskustvu, a vezano uz samu aplikaciju. Rezultati su pokazali da je većina sudionika bila zadovoljna upotrebom iBert-a, te su sustav smatrali korisnim i jednostavnim za primjenu, što pokazuju sljedeći podaci: pola od ukupnog broja kućanstava (50%) poduzelo je radnje za uštedu energije koje je predložio iBert, njih 36% poduzelo je dodatne radnje za uštedu energije koje nisu bile preporuka iBert-a, 78% ih je pratilo iBert tekstualne poruke, dok ih je čak 82% ustanovilo da je sustav barem djelomično koristan (Mogles, N. et al., 2017).

U nekim državama članicama, poput Francuske, provode se informacijske kampanje protiv implementacije pametnih brojila. Ondje je osnovana Plateforme Opérationnelle anti Linky, koja upozorava kućanstva da upotrebom pametnih brojila dolazi do povećanje cijena energije, elektrosmoga, rizika od požara, ali i da nema nikakve koristi za potrošače (Kochański et al, 2020).

2017. godine provedeno je dvogodišnje istraživanje u Caerau, Cardiff, Wales u kojem su sudjelovale 24 osobe (5 zaposlenih, 11 nezaposlenih, 8 umirovljenika) iz osjetljivih kućanstava (engl. *vulnerable households*) između 20 i 80 godina. Iako se radi o malom ispitnom uzorku, istraživanjem su ustanovljene mnoge sumnje, ali i otpor prema implementaciji novih tehnologija. Protivnici implementacije pametnih tehnologija prvenstveno su bili starije i zdravstveno problematične osobe, ali i mlađi koji su mišljenja da ih pametna tehnologija čini glupima i nesposobnima, vjerojatno strahujući od suočavanja sa stvarnom potrošnjom. Utvrđena je i potreba za daljnjim razmatranjem političkih pretpostavki da će pametna brojila potrošače bolje informirati o energetskej potrošnji te im tako omogućiti bolji izbor (Shirani, F. et al., 2020).

Širenje napredne mjerne infrastrukture i implementacija pametnih plinskih brojila uvelike ovisi o stavovima potrošača. Naime, sumnja potrošača u povjerljivost podataka i potencijalnu mogućnost izlaganja kibernetičkim napadima može ih odvratiti od implementacije novih tehnologija čime se napredna mjerna infrastruktura može suočiti s problemima. Potencijalne fizičke i ekonomske prijetnje narušit će odluku potrošača koji će okrenuti leđa implementaciji novih tehnologija. Stoga je potrebno čim prije, ali i što češće provoditi analize i istraživanja mogućnosti upotrebe pametnih plinskih brojila kako bi se dobile povratne informacije od potrošača i prema tome prilagodio razvoj ovih izrazito važnih projekata za Europsku uniju i njezine države članice.

5. PRIMJERI IMPLEMENTACIJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U EUROPI

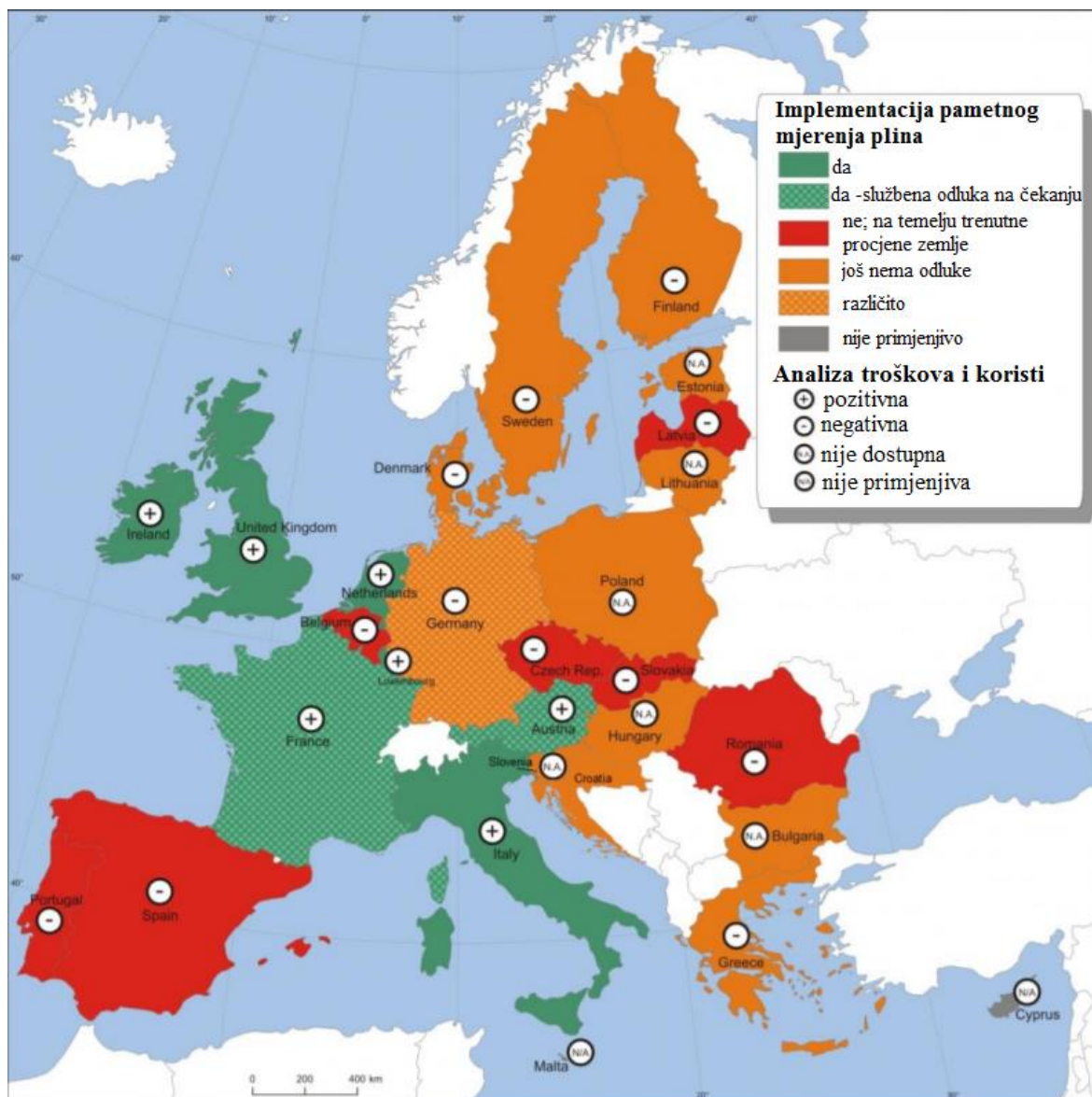
Implementacija sustava pametnog mjerenja vrlo je složen i dugotrajan proces koji zahtijeva određeno vrijeme. Glavni kriterij koje države članice uzimaju u obzir prilikom razmatranja ugradnje pametnih brojila je zapravo financijska isplativost. Provodeći analize troškova i koristi, one utvrđuju ekonomsku opravdanost cjelokupnog projekta i s obzirom da EU za pametna plinska brojila nije utvrdila obavezu implementacije, države imaju pravo na izbor.

Pametna plinska brojila počinju se postavljati u kućanstva širom Europe s ciljem povećanja energetske učinkovitosti te optimizacije potrošnje sve oskudnijeg energenta na tom području, gdje je razvoj pametnih sustava i tehnologija u različitim fazama. Razlike u implementaciji očite su u pogledu funkcionalnosti i sučelja, očekivanih implementacijskih strategija (djelomični razvoj u odnosu na potpunu implementaciju), tržišnog modela (tržišna djelatnost u odnosu na reguliranu djelatnost), očekivane brzine širenja, vremenskog okvira implementacije ili očekivanih troškova.

Naime, u 2014. godini Europska komisija je procijenila da će do 2020. godine biti ugrađeno 45 milijuna pametnih plinskih brojila, što je ekvivalentno oko 40% plinskih korisnika. Međutim, pokazalo se da su te procjene bile vrlo optimistične i nerealne. Najnoviji podaci iz izvješća Europske komisije *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28* iz prosinca 2019. godine navode cilj do 2024. godine instalirati oko 60 milijuna plinskih pametnih brojila u države EU. Ipak, procjene su da će do iste godine biti implementirano blizu 51 milijun plinskih pametnih brojila, što predstavlja oko 44% europskih potrošača plina.

Iako su tri četvrtine država članica EU usvojile posebne zakonske odredbe o implementaciji pametnih brojila električne energije, samo četvrtina njih (UK, Italija, Nizozemska, Francuska, Irska, Luksemburg – ujedno čine 56% svih plinskih mjernih mjesta u EU-28) učinila je isto za implementaciju pametnih plinskih brojila. Neke su države već ostvarile značajan napredak u implementaciji pametnih brojila, ponajprije misleći na Veliku Britaniju koja je dogurala najdalje, ali i Italiju te Nizozemsku.

Na slici 5-1 prikazano je stanje implementacije pametnih plinskih brojila u državama članicama EU.



Slika 5-1. Stanje implementacije pametnih plinskih brojila u državama članicama EU (European Commission, 2014a)

5.1 UJEDINJENO KRALJEVSTVO

UK je bio prva država EU-a koja je liberalizirala energetska tržište, a trenutno ima najrazvijenije konkurentno maloprodajno energetska tržište u Europi. Prema podacima iz 2018. godine (*Smart metering in Europe, 14th edition*) ondje je bilo 23.210.000 korisnika plina, četiri operatora plinskog distribucijskog sustava (Cadent, Scotia Gas Networks, Northern Gas Networks, Wales & West Utilities), a prosječna godišnja potrošnja kućanstva je 16.400 kWh. Oko 90% kućanstava povezano je na plinsku mrežu. Za razliku od većine drugih europskih zemalja, UK je odlučio otvoriti domaće tržište mjerenja energije za tržišno natjecanje. Godišnji troškovi za mjerenje električne energije i plina iznose oko 1,3 milijarde funti (1,6 milijardi eura), odnosno 25 funti po brojilu. Vlada UK-a donijela je u listopadu

2008. godine konačnu odluku o uvođenju pametnih brojila svim kupcima električne energije i plina do 2020. godine.

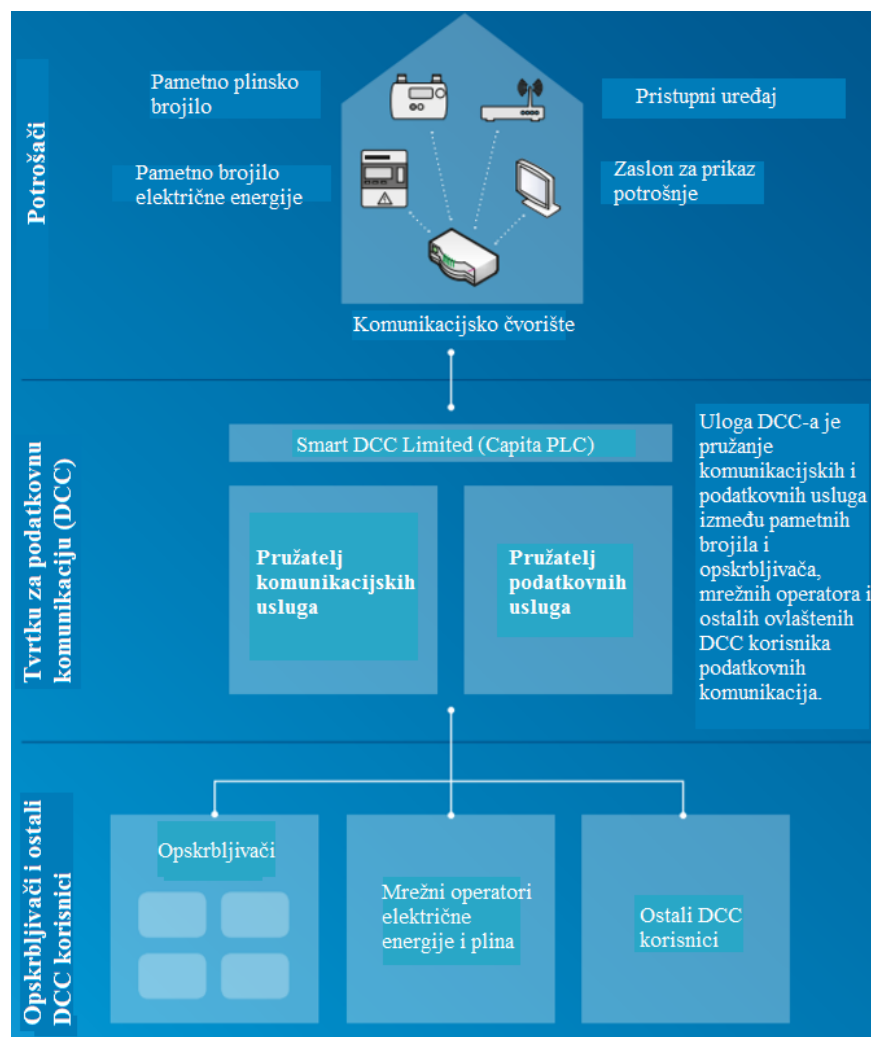
Kada se govori o Ujedinjenom Kraljevstvu vezano uz implementaciju pametnih brojila, važno je naglasiti da se prvenstveno radi o podacima za Veliku Britaniju kao predstavniku UK-a. Sjeverna Irska predstavlja vrlo mali udio u ukupnim podacima svih mjernih točaka UK-a, odnosno 1,5% od ukupnog UK-a. Isto tako, između Sjeverne Irske i Velike Britanije postoji razlika u metodologijama, kao i na energetskim tržištima. Program provedbe pametnog mjerenja u Velikoj Britaniji vodi vladina agencija, Ministarstvo za poslovanje, energetiku i industrijsku strategiju (engl. *BEIS, Department for Business, Energy and Industrial Strategy*, u daljnjem tekstu: Ministarstvo) regulira ga nacionalna regulatorna agencija Ured za tržište plina i električne energije (engl. *Ofgem, Office of Gas and Electricity Markets*), a vlada je također osnovala novi licencirani subjekt, Tvrtku za podatkovnu komunikaciju (engl. *DCC, Data Communication Company*) koja će pružati podatkovne i komunikacijske usluge za sustav pametnog mjerenja u cijeloj zemlji. Za razliku od ostalih europskih država, u UK su opskrbljivači vlasnici brojila te su ujedno odgovorni za njihovu implementaciju, dok treće strane pristupaju mjernim podacima putem središnjeg sustava (engl. *central hub*).

Sva brojila trebaju registrirati točne podatke za određena razdoblja, podržavati tarife vremena korištenja (engl. *TOU, time-of-use tariffs*), omogućiti daljinsku kontrolu upravljanja i pružiti dvosmjernu komunikaciju sa središnjim sustavom. Nadalje, trebalo bi postojati lokalno sučelje mreže kućnog područja (engl. *HAN, Home area network*) za pružanje informacija u stvarnom vremenu prema zaslonu za prikaz potrošnje ili drugim uređajima koji se povezuju sa sustavom brojila. Komunikacijske tehnologije koje se koriste u UK-u su stanične tehnologije 2G/3G/GSM/GPRS, bežični mrežni radio (engl. *mesh radio*) i RF *long range radio* (ZigBee).

Velika Britanija najnaprednija je od svih europskih država u projektu implementacije pametnih brojila gdje svaka tri mjeseca izlazi kvartalno izvješće s najažurnijim podacima za protekli završeni kvartal. Posljednji objavljeni podaci su oni iz drugog kvartala (Q2) 2020. godine koji pokazuju da je na dan 30. lipnja u Velikoj Britaniji bilo 8,2 milijuna aktivnih pametnih plinskih brojila i naprednih brojila (engl. *advanced meters*) u sektoru kućanstva, od čega 6,6 milijuna pametnih plinskih brojila obuhvaćenih pametnim načinom rada (engl.

smart mode) i naprednih brojila, dok ostatak čine brojila s uobičajenim načinom rada (engl. *traditional mode*). Uobičajen način rada znači da nakon promjene opskrbljivača, pametno brojilo gubi svoju pametnu funkciju i ne može automatski slati očitavanja novom opskrbljivaču. Navedeni problem vrijedi za prvu generaciju pametnih brojila, a detaljnije je opisan u odjeljku 3.2. Napredna brojila su brojila koja moraju omogućiti pohranu barem polusatnih podataka o potrošnji električne energije te satnih o potrošnji plina, kojima kupac koji nije iz kategorije kućanstvo (engl. *non-domestic customer*) ima pravovremeni pristup, a ODS udaljeni pristup. Ovi rezultati ukazuju na to da je trenutno 38% plinskih brojila u Velikoj Britaniji pametno, od čega 30% njih radi u „smart mode-u“, dok je preostalih 8% u „traditional mode-u“ (Department for business, energy & industrial strategy, 2020).

Slika 5-2 prikazuje način funkcioniranja sustava pametnog mjerenja u UK-u.



Slika 5-2. Sustav pametnog mjerenja u UK-u (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2018)

U rujnu 2019. godine Ministarstvo je provelo CBA analizu, a čiji su rezultati pokazali da će program implementacije pametnih brojila i dalje pružati značajne koristi kućanstvima i malim poduzećima u Velikoj Britaniji, s ukupnom neto sadašnjom vrijednošću od 6,63 milijardi eura za razdoblje do 2034. godine (troškovi iznose 15 milijardi eura, dok je iznos dobiti 21,63 milijardi eura). Što se pak ušteda tiče, CBA analizom energetske uštede za potrošače iz kategorije kućanstvo u Velikoj Britaniji se ostvaruju kroz bruto smanjenje potrošnje električne energije za 3,0 % i plina 2,2 % (0,5% za potrošače koji plaćaju unaprijed), što je iznos od oko 5,21 milijardi eura. Prema procjeni Ministarstva, trošak pametnog brojila koje se koristi u kućanstvu iznosit će nešto više od 442 eura, ali će pogodnosti biti gotovo 830 eura. Okvirna je procjena da će program pametnog mjerenja omogućiti uštede u iznosu 44,31 milijarde eura u narednih nekoliko desetljeća (Department for business, energy & industrial strategy, 2019).

UK je predvodnik u implementaciji sustava pametnog mjerenja u Europi. To je primjer zemlje koja dinamično implementira pametna plinska i brojila električne energije, gdje bi do kraja 2024. godine svako kućanstvo trebalo od opskrbljivača dobiti pametno brojilo električne energije.

5.2 ITALIJA

U Italiji je ugradnja pametnih plinskih brojila zakonski obavezna od 2018. godine za brojila razreda manjeg od G10 (Energetika.net, 2018). Naime, plinska brojila dijele se u razrede ovisno o potrošnji samog brojila. G4 i G6 brojila pripadaju kategoriji kućanstva, dok su sve iznad toga brojila komercijalnih i industrijskih potrošača. Plin je glavni i rastući izvor energije u Italiji, dostupan za 23.200.000 korisnika. Prema podacima iz 2018. godine (*Smart metering in Europe, 14th edition*) ondje je bilo 557 operatora distribucijskog sustava (što je najviše nakon Njemačke koja ih ima 730), od kojih se ističu Napoletana Gas (Italgas) (5.680.000 korisnika), 2i Rete Gas (3.850.000 korisnika), Inrete/ AcegasApsAmga (Hera) (1.110.000 korisnika), Unareti (A2A) (1.220.000 korisnika), Toscana Energia (790.000 korisnika) i Ireti (IREN) (740.000 korisnika). Međutim, očekuje se da će novi regulatorni režim talijanskog plinskog distribucijskog tržišta poticati ujedinjenje ODS-ova u narednim godinama s ciljem smanjenja broja istih. Prosječna godišnja potrošnja kućanstva je 12.500 kWh.

Program provedbe pametnog mjerenja u Italiji regulira Nacionalno regulatorno tijelo za električnu energiju, plin i vodu (engl. *ARERA, National Regulatory Authority*), a ODS-ovi su vlasnici brojila te su ujedno zaduženi za mjerenje, pohranu, provjeru valjanosti, razmjenu i prijenos podataka o potrošnji do opskrbljivača (vrijedi i za plin i za električnu energiju). Proces promjene opskrbljivača ide prema centralizaciji, dok je vrijeme potrebno za promjenu 21 dan, kao i za električnu energiju. Podaci o potrošnji pohranjuju se u bazu podataka ODS-a, a opskrbljivači također pohranjuju iste. Međutim, kada dođe do centralizacije, središnja platforma SII (engl. *Integrated Information System*) će pohranjivati podatke koje šalje ODS. U Italiji postoji velik broj ODS-ova, kako za električnu energiju tako i za plin, zbog čega posjeduju središnju platformu. Neovisni operator, *Acquirente Unico*, upravlja središnjom platformom koja je uvedena radi pojednostavljenja komunikacije među različitim operatorima. SII je središnje čvorište za osnovne tehničke informacije o mjestu isporuke i osobnim podacima potrošača. ODS će s opskrbljivačima komunicirati samo putem SII-a, putem kojih će im slati potvrđena očitavanja brojila. Opskrbljivači imaju pravo na pristup podacima o energetske potrošnji za naplatu i u druge svrhe bez dozvole potrošača, dok neovisni operator može doći do istih putem pristupnika isključivo uz pristanak potrošača. Potrošač može pristupiti potvrđenim podacima o potrošnji samo putem računa. Trenutno potrošač nema pristup mrežnom portalu središnjeg centra za podatke, međutim, ovaj pristup pruža se kao dobrovoljna inicijativa i nije obvezan. Talijansko zakonodavstvo i ARERA nastoje omogućiti potrošačima pristup zapisima povijesnih podataka o njihovoj vlastitoj potrošnji putem središnje platforme.

Prvi val uvođenja pametnih brojila u Italiju bio je između 2001.-2013. godine čime je Italija postala prva europska zemlja koja je implementirala pametna brojila električne energije kada je Enel (današnji E-Distribuzione, najveći ODS električne energije u Italiji) tijekom 2001.-2006. zamijenio 32 milijuna starih brojila električne energije vlastitim dizajnom P7LC brojila. ARERA je postavila cilj da do kraja 2018. godine 60% plinskih brojila sektora kućanstva i 100% industrijskih plinskih brojila bude pametno. 2008. godine provedena je CBA analiza za implementaciju plinskih pametnih brojila, a pokazala je pozitivne rezultate. Istom je analizom utvrđen iznos ukupnog kapitalnog troška od 97 eura po plinskom pametnom brojilu, dok se po brojilu može ostvariti korist od 176 eura. To je označilo početak uvođenja pametnih brojila u sektor kućanstva nekoliko godina kasnije, točnije 2014. godine, kada je započela i druga faza ugradnje pametnih brojila. U drugoj fazi (2014.-2023. godine), naglasak je stavljen na ugradnju plinskih pametnih brojila i drugu generaciju pametnih

brojila električne energije. Ukupan broj instaliranih plinskih pametnih brojila do 2018. godine iznosio je 7,7 milijuna s pokrivenošću od 35 %. Međutim, talijanski je cilj do 2023. godine postići potpunu ugradnju pametnih plinskih brojila. Cilj zamjene prve generacije uređaja drugom generacijom brojila električne energije je poboljšanje usluga koje se nude potrošaču, čime se nastoji ukloniti praksa obračuna na temelju procijenjene potrošnje umjesto stvarne te poboljšati točnost i preciznost mjerenih podataka. Učestalost ažuriranja podataka o potrošnji za električnu energiju blizu je realnom vremenu, dok je za plin puno rjeđe. Naime, u Italiji nije postavljena zakonska obveza, pa učestalost ažuriranja podataka o potrošnji plinskih pametnih brojila ovisi o izboru ODS-a i količini potrošnje (Tounquet, F. et al., 2019).

Što se komunikacijskih tehnologija tiče, dostupne su dvije mogućnosti:

- *Point-to-point*, uglavnom korištenjem javnog telekomunikacijskog kanala,
- *Point-to-multipoint*, gdje se podaci šalju s pametnog brojila do koncentratora pomoću frekvencijskog kanala od 169 MHz.

Point-to-point veza znači direktnu komunikacijsku vezu između dvije komunikacijske krajnje točke, odnosno očitani podaci s brojila šalju se izravno do glavne upravljačke jedinice. *Point-to-multipoint* znači indirektnu vezu, odnosno koncentrator prima očitane podatke s više pametnih brojila putem neke od komunikacijskih tehnologija te ih proslijeđuje do glavne upravljačke jedinice. Talijanski ODS-ovi primarno koriste RF 169 MHz mreže za povezivanje pametnih plinskih brojila, s 2G staničnom mrežom kao dodatkom za oko 30% OMM-ova. Glavne prednosti RF 169 MHz su niski operativni troškovi i dulje vrijeme trajanja baterije. S druge strane, prednost GPRS-a je manja složenost mreže, ali nedostaci su kraći vijek baterije, visoki troškovi podatkovne komunikacije i ograničena mrežna pokrivenost.

Italija iz godine u godinu bilježi porast pametnih brojila plina i procjene Europske komisije su da će do 2024. godine samo Italija, Luksemburg i Nizozemska dovršiti svoj sveobuhvatni program implementacije pametnih plinskih brojila (Tounquet, F. et al., 2019).

5.3 NIZOZEMSKA

Nizozemska je zemlja članica koja je završila liberalizaciju svojih energetske tržišta još 2004. godine i svi kupci imaju pravo samostalno odabrati opskrbljivača. Implementacija pametnih brojila u Nizozemskoj naišla je na otpor udruge potrošača i ostalih organizacija koje su smatrale kako pametna brojila narušavaju privatnost i sigurnost potrošača. Nizozemski parlament je, nakon prvotnog odbijanja ugradnje pametnih brojila, u ožujku 2014. godine donio konačnu odluku da od siječnja 2015. godine krene u masovnu implementaciju pametnih brojila električne energije i plina. Mjerne aktivnosti u Nizozemskoj su regulirane. Ovo je jedina država, uz UK, gdje je trenutno implementacija pametnih brojila neobavezna, što znači da krajnji korisnici mogu odbiti implementaciju, no u tom slučaju snosit će sav trošak ručnog očitavanja brojila (European Commission, 2014a).

Prirodni plin dostupan je za više od 85% stambenog tržišta. Prema podacima iz 2018. godine (*Smart metering in Europe, 14th edition*) ondje je bilo 7.300.000 korisnika plina, 15 operatora distribucijskog sustava od kojih se ističu Alliander (2.600.000 korisnika), Enexis (2.100.000 korisnika) i Stedin (1.900.000 korisnika). Prosječna godišnja potrošnja kućanstva je 13.300 kWh.

Nizozemski model ugradnje pametnih brojila temelji se na međusobnoj suradnji triju strana:

1. ODS - vlasnici pametnih brojila, odgovorni za ugradnju pametnih brojila, zamjenu tradicionalnih brojila pametnim brojilima i prikupljanje očitavanja brojila,
2. Opskrbljivači - odgovorni za prikupljanje izmjerenih podataka, koristeći ovlaštenog operatora distribucijskog sustava,
3. Središnji poslužitelj (engl. *EDSN, Energie Data Services Nederland*, u daljnjem tekstu: EDSN) - neovisna stranka odgovorna za rukovanje mjernim podacima brojila i omogućavanje dostupnosti istih svim relevantnim sudionicima.

Slikom 5-3 prikazano je komunikacijsko sučelje pametnih brojila u Nizozemskoj. Nizozemska arhitektura pametnih brojila definira priključke (P0 do P4) kao način ostvarivanja komunikacije (Poll, E. & van Aubel, P., 2019):

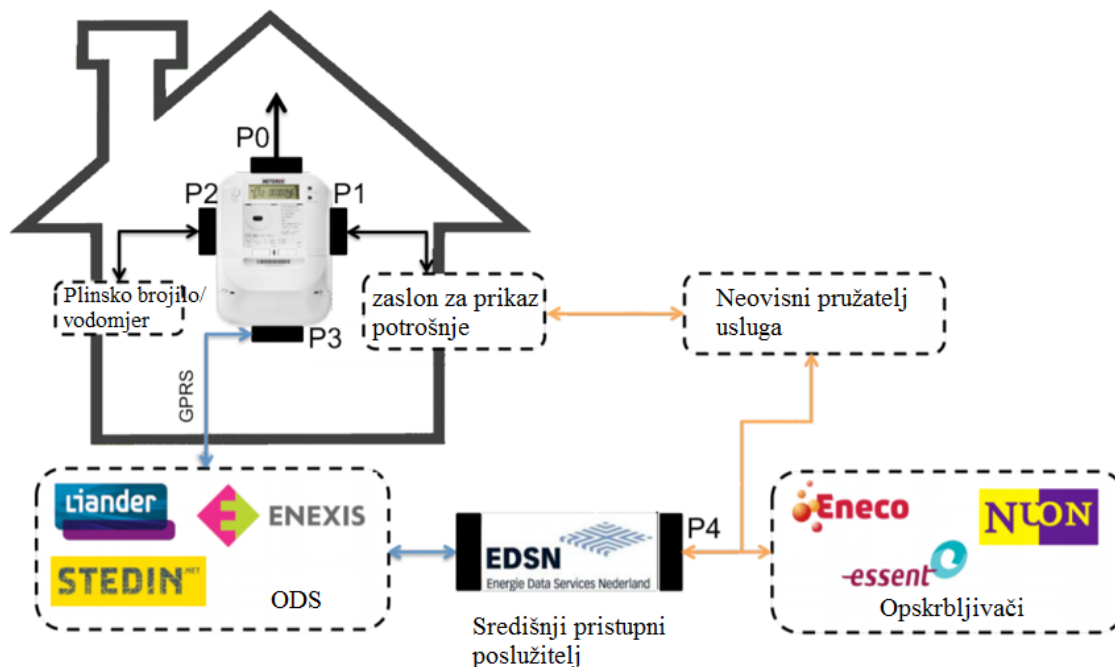
- P0 se koristi za lokalno povezivanje tijekom radova ugradnje i održavanja;

- P1 se koristi za povezivanje pametnog brojila s hardverom/softverom treće strane instaliranim u objektu potrošača; podržava samo komunikaciju od brojila do zaslona, ali ne i obrnuto (pomoću njega brojilo pruža mjerenja u stvarnom vremenu, u intervalima od 10 s, a može se koristiti za prikaz poruka na zaslonu);
- P2 se koristi za povezivanje s plinskim pametnim brojilom (najčešće bežično) koje šalje izmjerene vrijednosti do pametnog brojila električne energije jednom satno, a potom ih može pohraniti i proslijediti;
- P3 se povezuje s ODS-om (slanje mjerenih očitavanja brojila, bilo pohranjenih ili trenutnih očitavanja, provjere stanja, mjerenja kvalitete električne energije i prekida rada i daljinskih ažuriranja); za razliku od P1, P3 podržava dvosmjernu komunikaciju; najčešća veza/komunikacijska tehnologija je putem paketne, bežične podatkovne komunikacijske usluge, GPRS, višestrukog pristupa kodnoj podjeli (engl. *CDMA, Code Division Multiple Access*) ili 4G standard mobilne komunikacije (engl. *LTE, Long Term Evolution*).
- P4 je pristupnik (engl. *gateway*) koji se nalazi na strani ODS-a i omogućava opskrbljivačima i/ili trećim stranama povezivanje i prikupljanje podataka od potrošača; to je internetska usluga za pristup središnjem poslužitelju Energetskih podatkovnih usluga u Nizozemskoj (EDSN). Odgovornosti EDSN-a uključuju pružanje mjernih podataka energetskim opskrbljivačima i neovisnim pružateljima usluga (engl. *ISP, independent service providers*, u daljnjem tekstu: ISP), bez obzira na ODS-a odgovornog za regiju u kojoj se nalazi kupac.

ODS-ovi su osnovali Energie Data Services Nederland (EDSN), središnju organizaciju čija je odgovornost isporučiti izmjerene podatke opskrbljivačima i neovisnim pružateljima usluga (egl. *ISP, independent service providers*). Naime, kada opskrbljivač ili neovisni pružatelj usluga zahtijeva podatke o potrošnji jednog od svojih potrošača, prvo mora zatražiti podatke od EDSN-a; EDSN prosljeđuje ovaj zahtjev odgovornom ODS-u, koji zauzvrat preuzima podatke s potrošačevog brojila putem P3 priključka i šalje ih EDSN-u. EDSN sprema podatke sve dok ga opskrbljivač ili neovisni pružatelj usluga ne kontaktira sljedeći dan kako bi preuzeo podatke i pohranio ih u svoju bazu podataka (Poll, E. & van Aubel, P., 2019).

Uloga ISP-a je pružanje dodatnih usluga, primjerice savjeta za smanjenje energetske potrošnje pomoću očitavanja s pametnih brojila. Upravo zbog toga, razlika između P1 i P3

protokola (osim u dvosmjernoj komunikaciji) je ta da su podaci koje prima P3 protokol puno rjeđi (15 min) za razliku od P1 protokola (10 s), kao i to da podaci P3 protokola nisu dostupni u stvarnom vremenu.



Slika 5-3. Komunikacijsko sučelje pametnih brojila na primjeru Nizozemske (Poll, E. & van Aubel, P., 2019)

Ipak, opskrbljivači su ti koji zauzimaju središnju ulogu na nizozemskom tržištu. Oni su odgovorni za prikupljanje, provjeru valjanosti i izračun izmjerenih podataka kod potrošača iz kategorije kućanstvo te malih i srednjih poduzeća. Opskrbljivači su glavni kontakt prema potrošaču, šalju mu račun za energetske potrošnje i pokreću proces promjene opskrbljivača, a s ODS-om komuniciraju putem središnje baze podataka. ODS-ovi očitavaju podatke putem P3 priključka svaka dva mjeseca. Ni potrošač ni treća strana, osim trenutnog opskrbljivača, nemaju izravan pristup središnjoj bazi podataka. Potrošači mogu pristupiti svojim povijesnim i potvrđenim zapisima podataka jedino slanjem zahtjeva svom ODS-u ili opskrbljivaču, i to putem P1 priključka. Treća strana može pristupiti podacima pohranjenim u pametnom brojilu samo slanjem zahtjeva putem P3 i P4 priključaka, stoga ima pristup samo ograničenim povijesnim podacima, za koji mu treba pristanak potrošača. Nadalje, potrošač ima pravo tražiti od ODS-a zaštitu privatnosti podataka, stoga mu ovaj mora omogućiti da samostalno odredi kome je omogućen pristup njegovim podacima (Küpper, G. et al., 2018).

2010. godine KEMA, nizozemska konzultantska tvrtka, provela je CBA analize za implementaciju pametnih plinskih, kao i brojila električne energije u Nizozemskoj. Analize su pokazale pozitivne rezultate, a provedene su za razdoblje narednih 50 godina. U njima stoji da je ukupan kapitalni trošak za implementaciju pametnih brojila (plin i električna energija) 220 eura po brojilu, dok se po brojilu može ostvariti korist od 270 eura (van Gerwen, R. et al, 2010). Također, u Nizozemskoj su IHD-ovi i aplikacije za upravljanje energijom besplatne, s ciljem smanjenja troškova pametnog mjerenja za potrošače. Takav je način do 2018. godine doveo do ušteda od 3-4%. Također, ondje postoji besplatna usluga UMeter, mrežna stranica koja grafičkim prikazom iskazuje potrošnju plina i električne energije. Pomoću nje, moguće je predvidjeti troškove potrošača do kraja godine, kao i usporediti iste s drugim potrošačima (Tounquet, F. et al., 2018). Ukupan broj instaliranih plinskih pametnih brojila do 2018. godine iznosio je 3,4 milijuna od ukupno 7,3 milijuna obračunskih mjernih mjesta, s pokrivenošću od 47%. Nizozemska je jedna od uspješnijih država članica EU-a u implementaciji pametnih plinskih brojila. Od šest država EU-28 (UK, Italija, Nizozemska, Francuska, Irska, Luksemburg) koje su do sada usvojile strategiju za opsežnu implementaciju navedenih brojila, ova je država, uz Luksemburg, jedina koja je na pragu ostvarenja cilja od 80% implementacije do kraja 2020. godine.

Iako većina zemalja članica Europske unije u svojim strategijama i programima nastoje implementirati pametna brojila električne energije i plina, ipak postoje i one države koje se i dalje nisu opredijelile za takav iskorak. Naime, neke su države članice utvrdile da sustav pametnog mjerenja nije financijski opravdan i odlučile su ga ne provesti. Prema podacima Europske komisije iz 2014. godine, zemlje koje se nisu odlučile za implementaciju pametnih plinskih brojila su Njemačka, Rumunjska, Češka Republika, Španjolska, Danska, Poljska, Portugal i Bugarska. I ovdje je glavni razlog ekonomska neisplativost samog projekta ugradnje.

6. IMPLEMENTACIJA PLINSKIH PAMETNIH BROJILA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Implementacija plinskih pametnih brojila u Republici Hrvatskoj za potrošače iz kategorije kućanstvo i dalje nije zakonski propisana kao obavezna. Najnovija metodologija predviđa postojanje dvanaest tarifnih modela. Tarifni modeli (u daljnjem tekstu: TM) su obračunska mjerna mjesta kategorizirana prema količini godišnje potrošnje plina za određene skupine potrošača. TM1 je tarifni model za skupinu potrošača s godišnjom potrošnjom manjom ili jednakom 5.000 kWh, TM2 s godišnjom potrošnjom većom od 5.000 kWh, a manjom ili jednakom 25.000 kWh, TM3 obuhvaća raspon potrošnje između 25.000 kWh i 50.000 kWh/godišnje, dok TM4 model uključuje skupinu potrošača s godišnjom potrošnjom većom od 50.000 kWh, a manjom ili jednakom 100.000 kWh. Upravo četiri navedena tarifna modela obuhvaćaju potrošače iz kategorije kućanstvo, dok ostali tarifni modeli pripadaju potrošačima iz kategorije poduzetništvo (Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA), 2018b).

6.1 PILOT PROJEKTI UGRADNJE PAMETNIH BROJILA ZA OČITANJE POTROŠNJE PLINA U RH

Pametno mjerenje plina novi je izazov na plinskom tržištu, te je vrlo aktualna tema i predmet je tehničko-tehnološke analize, investicijskih troškova i kadrovske obrazovanosti. Nekoliko je operatora plinskog distribucijskog sustava u RH provelo vlastite analize i projekte kako bi utvrdili isplativost i učinkovitost implementacije različitih rješenja sustava pametnog mjerenja s daljinskim očitanjem potrošnje, a koji bi trebali biti podloga za daljnje odluke uvođenja pametnih tehnologija u plinskom sektoru. Prema *Zakonu o energiji* (Hrvatski sabor, 2018) uvođenje naprednih mjernih uređaja i sustava za njihovo umrežavanje kod krajnjih kupaca prirodnog plina u Republici Hrvatskoj treba provesti kroz sljedeća tri koraka:

- I. utvrđivanje tehničkih zahtjeva i troškova uvođenja naprednih mjernih uređaja i sustava za njihovo umrežavanje – nositelj obveze: operatori distribucijskih sustava,
- II. provođenje analize troškova i koristi uvođenja naprednih mjernih uređaja i sustava za njihovo umrežavanje, te pribavljanje mišljenja predstavnika tijela za zaštitu potrošača – nositelj obveze: nacionalni energetska regulator (HERA),
- III. donošenje plana i programa mjera za uvođenje naprednih mjernih uređaja za krajnje kupce prirodnog plina – nositelj obveze: nadležni ministar.

U nastavku su opisana dva pilot projekta provedena u RH vezano uz navedenu tematiku.

6.1.1 Pilot projekt *ODS I*

Prema izvješću koje je autoru na raspolaganje dao operator plinskog distribucijskog sustava (u daljnjem tekstu: *ODS I*), isti je proveo pilot projekt opreme za sustav pametnog mjerenja. U projektu se navodi da su glavni kriteriji za odabir sustava pametnog mjerenja:

- pouzdanost (%),
- cijena,
- troškovi održavanja,
- podaci o satnoj potrošnji,
- životni vijek.

Tijekom provođenja pilot projekta, testirana je i ispitana oprema za daljinsko očitavanje raznih proizvođača. *ODS I* kroz određeno je razdoblje testirao opremu koja je uključivala plinska brojila za daljinsko očitavanje, korektore volumena, zatim komunikacijske module za plinska brojila, koncentrator podataka te su ispitana i poneka softverska rješenja. *ODS I* je razmotrio sva dostupna rješenja u danom vremenu izrade projekta, nakon čega je išao u testiranje onih koji su mu bili omogućeni. Razmatrane su dvije mogućnosti, ovisno o tome jesu li potrošači imali postojeću opremu i sukladno tome zahtijevali samo modul koji omogućava daljinsko očitavanje i prijenos podataka ili su zahtijevali potpuno novu mjernu opremu. Važno je znati da ne podržavaju svi moduli svaki tip korektora volumena, odnosno neki moduli mogu se postaviti samo u slučajevima da postojeća plinska brojila imaju davač magnetnog impulsa na samom mehaničkom brojčaniku. Pilot projektom testirana je oprema koja vrši prijenos podataka putem radio frekvencije (RF), te oprema koja vrši prijenos podataka putem GPRS-a. Tijekom provođenja testiranja, ostale tehnologije poput NB-IoT-a bile su nedostupne, odnosno u razvojnoj fazi.

Temeljem provedenog testiranja dobiveni su rezultati analize te su doneseni određeni zaključci. Za sektor kućanstva (G4 – G6 plinska brojila u RH) kao najbolje rješenje dobiveno je ultrazvučno plinsko brojilo jedne strane tvrtke s integriranim modulom za daljinsko očitavanje te za daljinsko zatvaranje ventila unutar plinskog brojila koji ima opciju satnog očitavanja preko GSM/GPRS ili RF tehnologije pri frekvenciji od 169 MHz. Na slici 6-1 prikazano je ultrazvučno plinsko brojilo s digitalnim zaslonom za prikaz potrošnje.



Slika 6-1. Ultrazvučno plinsko brojilo

Ovdje je dovoljno samo zamijeniti modul kako bi se promijenio oblik komunikacije. Najprihvatljivijim rješenjem za korektore utvrđeno je korištenje elektronskog korektora s ugrađenim GSM/GPRS sustavom prijenosa podataka, sa satnom potrošnjom. Ipak, ovo je uspješno rješenje za plinska brojila razreda G10-G40, što pripada kategoriji industrijskih potrošača. Komunikacijski modul za plinska brojila s namjenom prijenosa podataka o potrošnji s brojila kao samostalne jedinice (GSM/GPRS tehnologija), s baterijskim napajanjem, utvrđeno je kao najbolje rješenje. Plinsko brojilo u svojoj izvedbi ima davač magnetnog impulsa s donje strane mehaničkog brojčanika te se plinska brojila mogu nadograditi s modulima za daljinsko očitavanje koji registriraju magnetne impulse s brojila te ih prenose putem GSM/GPRS signala na poslužiteljsku platformu proizvođača opreme. Moduli se postavljaju na brojila veličine od G4 do G40 razreda plinskog brojila. Za koncentratore podataka, kao najbolje rješenje ustanovljen je koncentrador skupljač (RF signala s brojila pri 169 MHz) jedne talijanske tvrtke, zajedno s prijenosom putem GSM-a na poslužitelj, a sadrži jedinstveno rješenje napajanja solarnim korektorom u kombinaciji s baterijom.

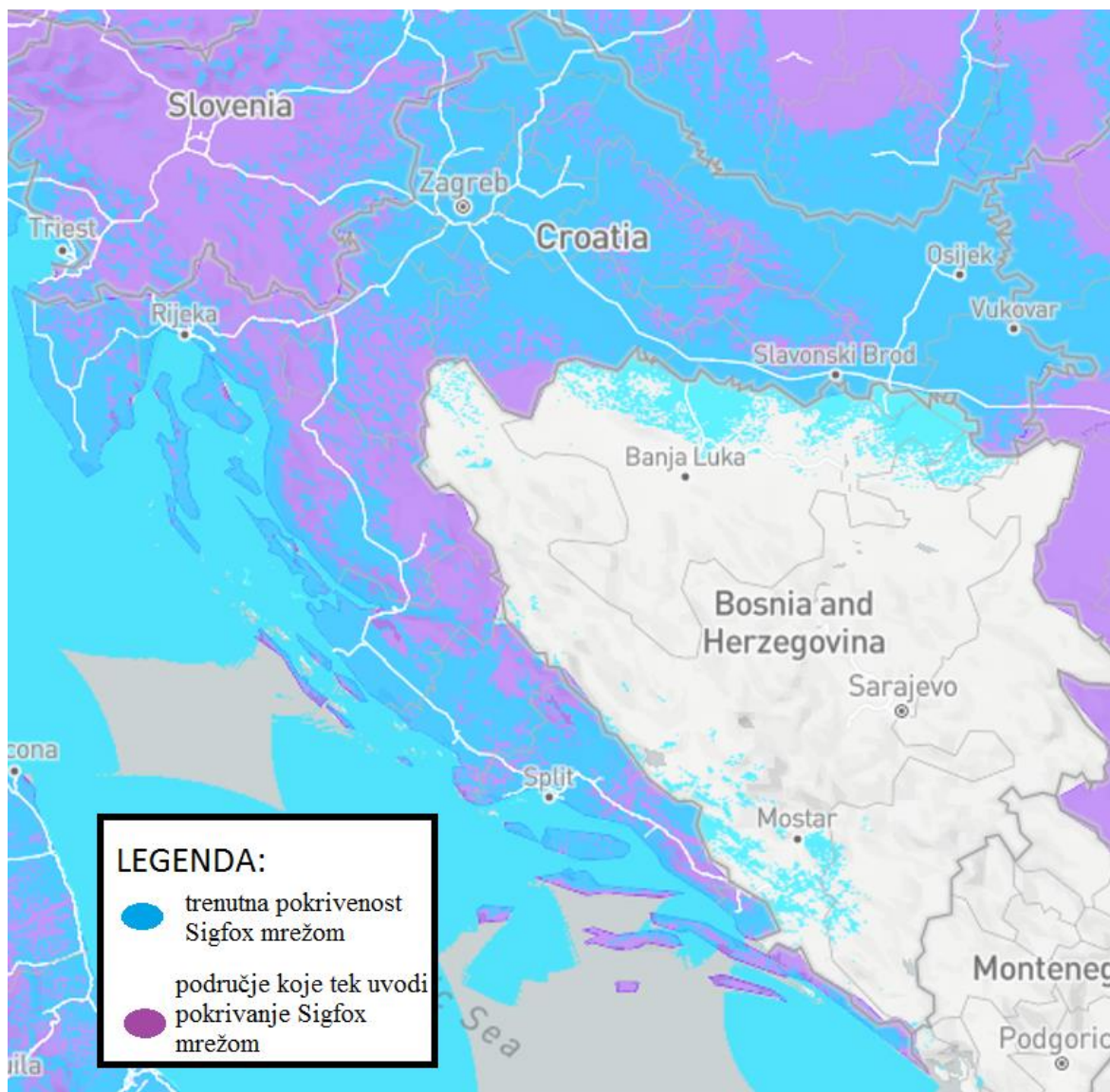
GSM/GPRS tehnologija za prijenos podataka pokazala se vrlo uspješnom i zadovoljila je potrebe *ODS-a 1*. Ustanovljene su prednosti navedene komunikacijske tehnologije, a to su visok stupanj pouzdanosti, velika količina prijenosa podataka i dostatna pokrivenost mrežom

(dohvat podataka preko 95%). S druge strane, druga ispitana tehnologija, radio-frekvencijski prijenos podataka pri frekvenciji od 868 MHz i 169 MHz, nije zadovoljio, prvenstveno zbog malog dometa očitavanja podataka koji su bili vrlo ovisni o vremenskim te lokacijskim uvjetima (topografija). Analizom navedenih frekvencija zaključeno je da kod većih frekvencija postoji manja potrošnja baterije i smanjeni domet signala te kvalitetniji prijenos samog signala jer su manje smetnje (šumovi). S druge strane, kod manjih frekvencija prisutna je veća potrošnja baterije i veći domet signala, međutim, prijenos signala je lošiji zbog prisutnih smetnji. Ugradnja koncentratora bila je otežana zbog potrebe za neprekidnim napajanjem strujom ili ugradnjom solarnih ćelija.

Ipak, prednosti radio-frekvencijske tehnologije očituju se u vidu dužeg vijeka trajanja baterije (15 godina), kao i niske cijene proizvoda. Ova tehnologija pokazala se vrlo učinkovitom jedino u stambenim zgradama. *ODS 1* nije utvrdio najbolje softversko rješenje, a zaključak je da bi se išlo u izradu vlastitog softvera, ukoliko se ne usvoji niti jedna od ponuđenih aplikacija.

6.1.2 Projekt daljinskog očitavanja plinskog brojila HEP Plin d.o.o.

Hrvatski operator distribucijskog sustava HEP Plin nakon uspješnog pilot projekta krenuo je 2020. godine s procesom digitalizacije plinskih pametnih brojila na svom distribucijskom području. Tvrtka je odabrala ekonomski najisplativiju Sigfox 0G bežičnu RF mrežu koja djeluje na području cijele Hrvatske, a orijentirana je na razmjenu podataka između strojeva. Mreža je dio Interneta stvari, tehnologije digitalne transformacije, odnosno mrežne infrastrukture u kojoj fizičke i virtualne stvari nevidljivo dolaze u interakciju i na taj način komuniciraju. To je tehnologija koja omogućava učinkovitije poslovanje, bolje razumijevanje kupaca, njihovih potreba i zahtjeva te lakše donošenje odluka. Uloga mreže je prihvatanje podataka o potrošnji koje emitiraju senzori postavljeni na plinska brojila u distribucijskom sustavu tvrtke. Prednosti mreže su velika pokrivenost (približno 90% stanovništva i 75% teritorija, iako se dostupnost mreže nastoji proširiti na područje cijele Hrvatske), energetska je učinkovita (s predvidivim trajanjem baterije), skalabilna i pouzdana, međutim mana je prijenos male količine podataka. Na slici 6-2 prikazana je karta pokrivenosti Sigfox mrežom u RH.



Slika 6-2. Karta pokrivenosti Sigfox mrežom u RH (www.sigfox.com, 2020)

Naime, plava boja na karti prikazuje trenutnu pokrivenost Sigfox mrežom, što se može uočiti u Panonskom dijelu RH, a posljedica je prevladavanja nizinskih dijelova. S druge strane, ljubičasta boja predstavlja područje koje tek uvodi pokrivanje gore navedenom mrežom. U RH je područje Dinarida i Velebita, te područje Požeške kotline uglavnom lošije pokriveno upravo zbog prepreka brežuljkastog terena i brdovitog područja. Potrebno je ugraditi odašiljač na što je moguće višu zgradu kako bi se omogućila čim bolja povezanost s prijemnikom, pametnim plinskim brojiлом, a kako je distributivno područje tvrtke na ravničarskom terenu, dovoljan je samo jedan odašiljač koji emitira vrlo jak signal za pokrivenost cjelokupnog područja mrežom. Ukoliko je prisutno brežuljkasto područje, za dovoljnu jačinu signala bit će potrebna ugradnja većeg broja odašiljača na takvoj lokaciji.

Spajanje na mrežu u RH je omogućila tvrtka IoT Net Adria, dok su HEP Telekomunikacije pružile uslugu prihvata podataka na platformu za obradu podataka, na kojoj se odvija uparivanje sa sustavom za naplatu. Senzor koji se instalira na postojeća plinska brojila i šalje očitavanja nekoliko puta dnevno razvila je tvrtka Byte Lab, dok su Multicom i Axis provele softversku integraciju projekta.

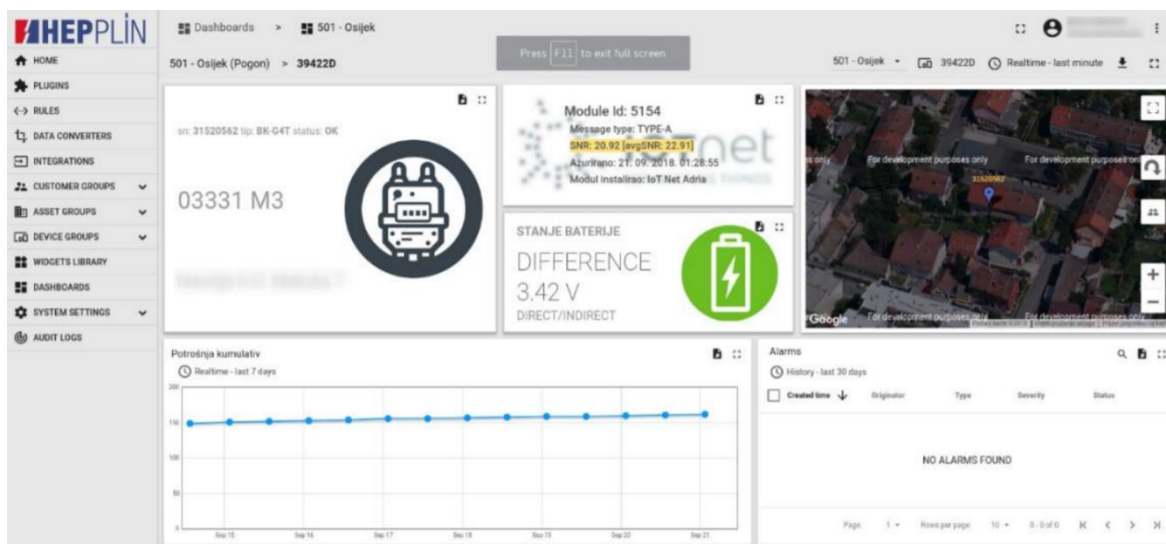
Ugradnja pametnih brojila omogućit će stalnu komunikaciju i povezivanje s centralnom upravljačkom jedinicom. Na slici 6-3 prikazano je membransko plinsko brojilo s Byte Lab senzorskim modulom za očitavanje. Naime, ugradnjom modula s baterijskim napajanjem (vijek trajanja baterije doseže čak 10 godina i alarm za otkrivanje neovlaštenih radnji) s donje strane brojčanika, omogućeno je očitavanje potrošnje pametnog brojila i daljinsko prenošenje očitavanja do centralne upravljačke jedinice.



Slika 6-3. Membransko plinsko brojilo s Byte Lab senzorskim modulom za očitavanje (www.netokracija.com, 2020)

Zaključci doneseni temeljem provedenog pilot projekta su brza i jednostavna instalacija opreme, savršen prijenos podataka, novi IP68 uređaj koji rješava uočene probleme što daje dodatnu fleksibilnost, jednostavna integracija sustava u postojeće i nove sustave prijenosa podataka, te usklađenost s postojećim sustavima daljinskog očitavanja.

Na slici 6-4 prikazana je platforma, odnosno aplikacija tvrtke koja u stvarnom vremenu pokazuje tip i status brojila, modul identifikacijsku oznaku, ukupnu potrošnju plina unazad posljednjih sedam dana, zatim stanje baterije, lokaciju i alarm za otkrivanje neovlaštenih radnji unazad posljednjih 30 dana.



Slika 6-4. Aplikacija tvrtke HEP Plin za praćenje parametara brojila u stvarnom vremenu (Crnički, B., 2019)

Energetski gledano, projekt pametnog mjerenja i daljinskog očitavanja plinskih brojila pruža prednosti i za HEP Plin kao distributera, ali i za potrošače. Naime, projekt omogućuje uvid u stvarnu potrošnju, a u slučaju naglog povećanja potrošnje, sustav ima mogućnost slanja alarma upozorenja ukoliko detektira kvar ili nekontrolirano istjecanje, čime se povećava sigurnost cjelokupnog sustava. Isto tako, omogućene su procjene troškova temeljem povijesnih zapisa podataka, racionalnija potrošnja, što utječe na uštedu energije, ali dovodi i do smanjenja emisija CO₂.

6.2 SCENARIJI IMPLEMENTACIJE PLINSKIH PAMETNIH BROJILA U REPUBLICI HRVATSKOJ

U ovom poglavlju bit će prikazana četiri scenarija koja predviđaju implementaciju pametnih plinskih brojila u RH. Izrađene su analize koje podrazumijevaju povećanje implementacije pametnih plinskih brojila kroz moguće scenarije implementacije od 20%, 40%, 60% i 100%. Navedeni scenariji prikazuju masovnu implementaciju određenog broja pametnih plinskih brojila kroz deset godina, počevši od 2021. godine.

Za analizu scenarija korišten je *Microsoft Excel*, program za tablično računanje i rješavanje matematičkih problema. Na temelju baze podataka unesene u program, vrlo je lako izraditi grafikone i tablice. Ulazni podaci za analizu su postotak ugradnje pametnih plinskih brojila, broj plinskih OMM-ova na distribucijskom sustavu, cijena ugradnje i cijena samog brojila, potrošnja plina kategorije kućanstvo, ušteda energije primjenom pametnih plinskih brojila te cijena prirodnog plina za kućanstva (bez PDV-a i s PDV-om). Dobiveni podaci su kumulativni trošak ugradnje pametnih brojila, količina energije koja bi bila izmjerena mehaničkim brojlama, a koja će biti zamijenjena pametnim brojlama, te energetska i financijska ušteda.

6.2.1 Ulazni podaci

Do ulaznih podataka u provedenoj analizi došlo se putem različitih mrežnih izvora. Prije svega, pretpostavka je da će se s masovnom implementacijom krenuti 2021.godine, budući da Europska unija sve više ustraje i, kroz navedene regulative, potiče države članice na ugradnju pametnih mjernih sustava. Podatak o vremenu trajanja brojila prije nego ode na umjeravanje je 10 godina, a dobiven je na mrežnim stranicama dokumenta *Pravilnik o izmjenama pravilnika o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila*. Statistički podatak o konačnoj potrošnji prirodnog plina iz kategorije kućanstvo u RH, za 2018. godinu dobiven je putem mrežnih stranica Eurostata, a iznosi 5.433,669 GWh. Podatak o broju OMM-ova na distribucijskom sustavu dobiven je iz brošure *Plinsko gospodarstvo Republike Hrvatske* izdane 2019. godine od strane Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP). Također, korišten je podatak za 2018. godinu te iznosi 626.307 OMM-ova za potrošače plina iz kategorije kućanstvo. Podatak o cijeni ugradnje i cijeni samog pametnog plinskog brojila, kao i podatak o energetske uštedama koristeći pametna plinska brojila dobiveni su iz dokumenta *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28* Europske komisije iz 2019. godine. U navedenom dokumentu stoji da je ponderirana prosječna cijena instalacije zajedno s cijenom brojila jednaka 171 euro po mjernom mjestu (u daljnjem tekstu: €/OMM), a prema tečajnoj listi Hrvatske narodne banke (HNB) na dan 26.08.2020. vrijednost srednjeg deviznog tečaja od 1€ je iznosila 7,524187 kn. Množenjem vrijednosti cijene instalacije zajedno s cijenom brojila, s vrijednošću srednjeg deviznog tečaja HNB-a dobivena je cijena od 1.286,64 kn po brojlilu. Navedena vrijednost cijene korištena je u analizi. Podatak energetske uštede iščitana iz gore navedenog dokumenta oscilira između 1,83 - 9,63 %. Ukupna krajnja cijena plina (bez PDV-a), a koja se sastoji od troška nabave

plina, troška distribucije plina i opskrbne marže, dobivena je putem mrežnih stranica *HEP-Plina d.o.o.* za tarifne modele TM1, TM2 i TM3, a iznosi 0,2316 kn /kWh. Cijena plina za tarifni model TM4 nije uzeta u obzir budući da zanemariv broj potrošača iz kategorije kućanstvo pripada tom modelu potrošnje. Krajnja cijena plina (s PDV-om) dobivena je uvećanjem navedenog iznosa za vrijednost PDV-a (koji u RH iznosi 25%), te iznosi 0,2895 kn /kWh.

U tablici 6-1 prikazani su ulazni podaci za četiri različita scenarija implementacije pametnih plinskih brojila iz kategorije kućanstvo.

Tablica 6-1. Ulazni podaci za četiri različita scenarija implementacije pametnih plinskih brojila iz kategorije kućanstvo

ULAZNI PODACI	
CIJENA UGRADNJE PAMETNOG PLINSKOG BROJILA (kn)	1.286,64
UKUPAN BROJ PLINSKIH OMM-OVA U SEKTORU KUĆANSTVA (2018)	626.307
UKUPNA POTROŠNJA PRIRODNOG PLINA U SEKTORU KUĆANSTVA (2018) (GWh)	5.433,669
ENERGETSKA UŠTEDA (%)	1,83-9,63
UKUPNA KRAJNJA CIJENA PLINA (BEZ PDV-A) (kn /kWh)	0,2316
UKUPNA KRAJNJA CIJENA PLINA (S PDV-OM) (kn / kWh)	0,2895
VRIJEME TRAJANJA BROJILA PRIJE UMJERAVANJA (god)	10

Prvi korak tijekom provođenja analize bio je postaviti navedene udjele implementacije pametnih brojila ravnomjernom raspodjelom kroz razdoblje njihova trajanja od deset godina, dok ne budu primorani ići na umjeravanje. Postotni udjeli implementacije pametnih brojila prikazani su tablicom 6-2.

Tablica 6-2. Postotak implementacije pametnih plinskih brojila kroz narednih 10 godina prema četiri različita scenarija (%)

POSTOTAK IMPLEMENTACIJE PAMETNIH PLINSKIH BROJILA KROZ NAREDNIH 10 GODINA (%)										
	1.god	2.god	3.god	4.god	5.god	6.god	7.god	8.god	9.god	10.god
1. SCENARIJ	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
2. SCENARIJ	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
3. SCENARIJ	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
4. SCENARIJ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Također, potrebno je bilo napraviti nekoliko scenarija energetske uštede u različitim postotnim udjelima između minimalne i maksimalne vrijednosti propisane dokumentom *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28* kako bi obuhvatio veći broj mogućnosti. Navedeni scenariji prikazani su tablicom 6-3.

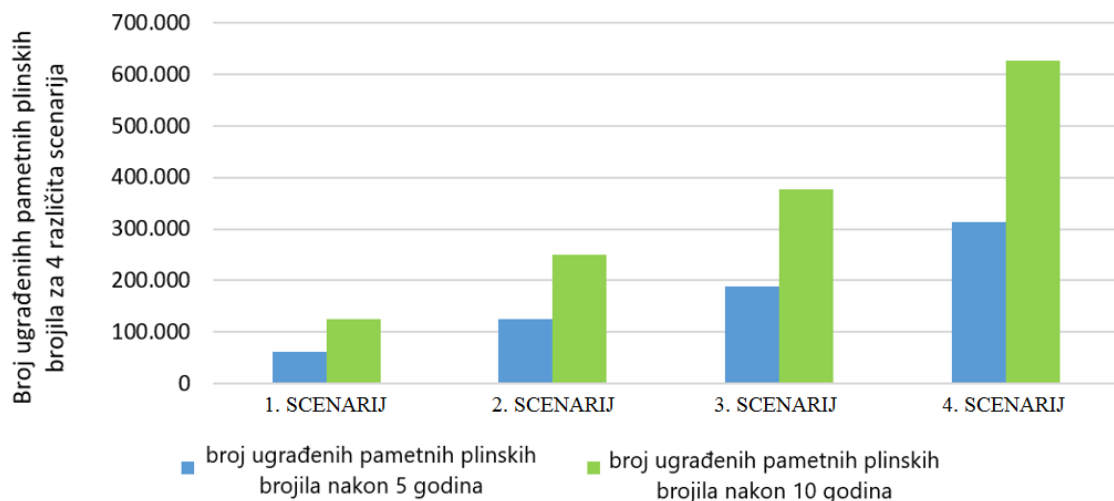
Tablica 6-3. Raspodjela energetske uštede (%)

ENERGETSKE UŠTEDE (%)				
1,83	4	6	8	9,63

6.2.2 Rezultati analize

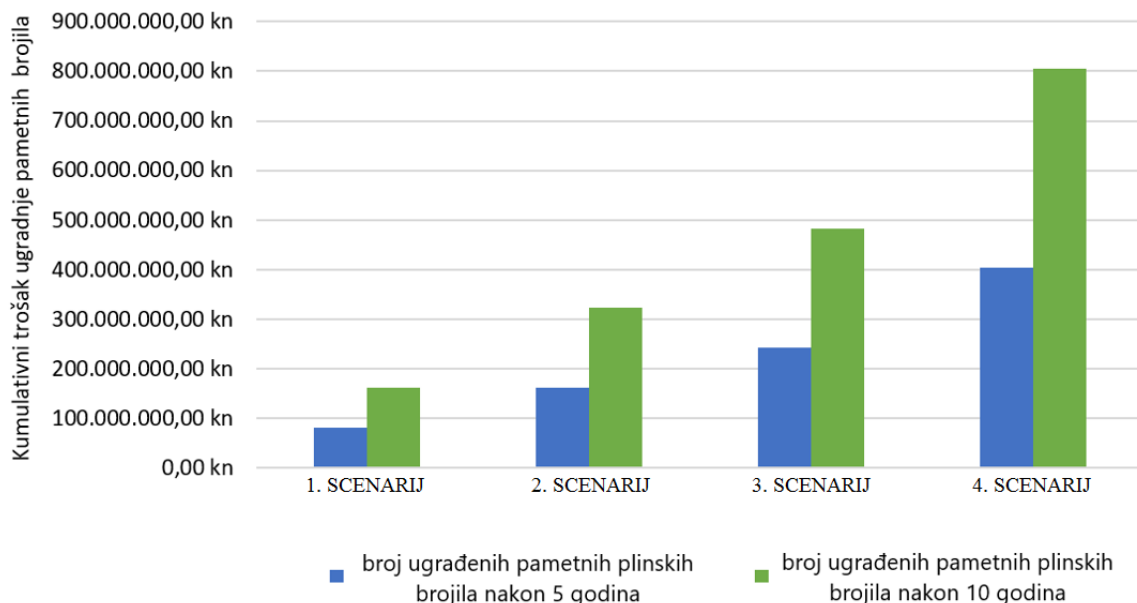
Glavni cilj analize bio je doći do podatka o kumulativnom trošku ugradnje pametnih brojila kroz jedno desetljeće u četiri različita scenarija kako bi se dobila spoznaja o energetske učinkovitosti te energetske i financijske uštedama u navedenom razdoblju.

Nakon unesenih ulaznih podataka u program *Microsoft Excel*, bilo je potrebno izračunati ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila za navedeno razdoblje. Do rezultata ovog dijela proračuna došlo se množenjem postotnog udjela implementacije pametnih brojila za svaki pojedini scenarij s ukupnim brojem plinskih obračunskih mjernih mjesta u sektoru kućanstva za 2018. godinu, a koji je iznosio 626.307 brojila. Grafički prikaz 6-1 prikazuje ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila u 5. i 10. godini, dok se prikaz za svih deset godina implementacije nalazi u prilogu 1. U 10. godini prema prvom scenariju implementacije od 20% pametnih brojila implementiralo bi se 125.261 brojila, dok bi se scenarijem 100%-tne implementacije ugradilo 626.307 brojila.



Grafički prikaz 6-1. Ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila u 5. i 10. godini implementacije za četiri scenarija

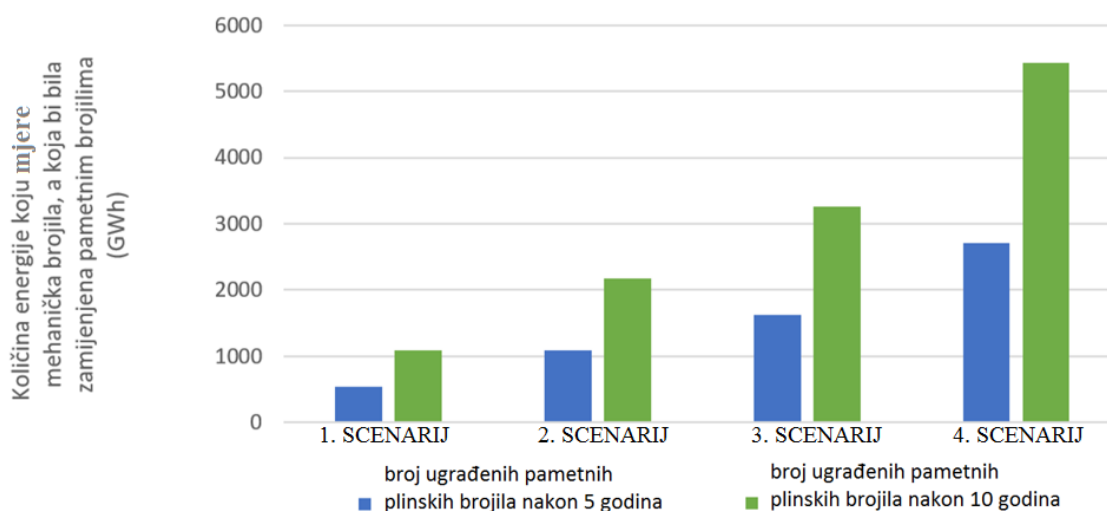
Nakon dobivenih podataka o broju ugrađenih pametnih brojila, pristupilo se izračunu kumulativnog troška implementacije pametnih plinskih brojila. Taj podatak dobiven je umnoškom broja ugrađenih brojila za pojedini scenarij i cijene instalacije zajedno s cijenom brojila (grafički prikaz 6-2). Također, i ovdje se nalazi grafički prikaz troška implementacije za 5. i 10. godinu ugradnje, a potpuni podaci prikazani su u prilogu 2.



Grafički prikaz 6-2. Trošak implementacije za 5. i 10. godinu ugradnje kroz četiri scenarija

Iz grafičkog prikaza 6-2 može se očitati trošak ugradnje pametnih brojila za svaki od scenarija ugradnje. Prema scenariju 100%-tne ugradnje, trošak plinskog brojila kroz pet bi godina iznosio 402.914.559,42 kn, a kroz svih 10 godina, 805.829.118,85 kn.

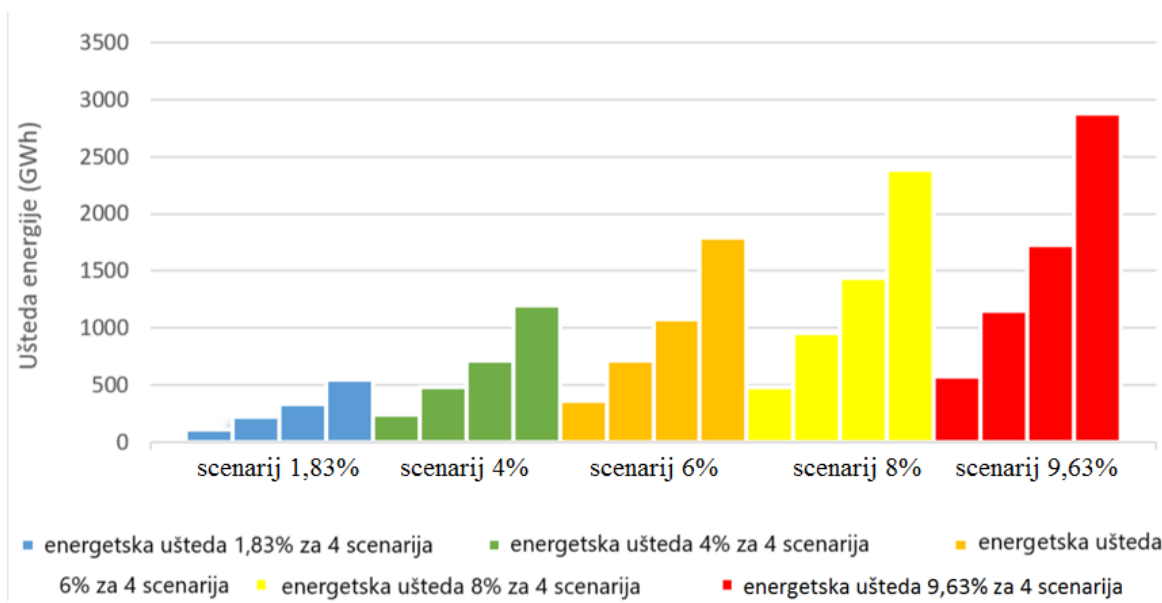
Zatim je dobivena energija koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojlilima. Za taj izračun bio je potreban umnožak postotnog udjela ugrađenih pametnih brojila i ukupne godišnje potrošnje prirodnog plina u sektoru kućanstva. Dobiveni podaci pokazuju da bi implementacija 20% pametnih brojila u deset godina izmjerila potrošnju od 1.086,7338 GWh, a potpuna implementacija čak 5.433,669 GWh energije (grafički prikaz 6-3). Prilog 3 prikazuje podatke za svaku od deset godina.



Grafički prikaz 6-3. Količina energije koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojlilima.

6.2.3 Energetske i financijske uštede

Dobiveni podaci iz grafičkog prikaza 6-3 i priloga 3 bili su novi ulazni podaci za izračun ukupnih količina energetske uštede. Množenjem postotnih vrijednosti energetske uštede s odgovarajućom količinom energije koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojlilima (prikazanih grafičkim prikazom 6-3) dobiveni su podaci energetske uštede za pet različitih scenarija energetske uštede i četiri scenarija implementacije pametnih brojila. Grafički prikaz 6-4 projicira uštedu energije u jedinici GWh kroz navedene scenarije.

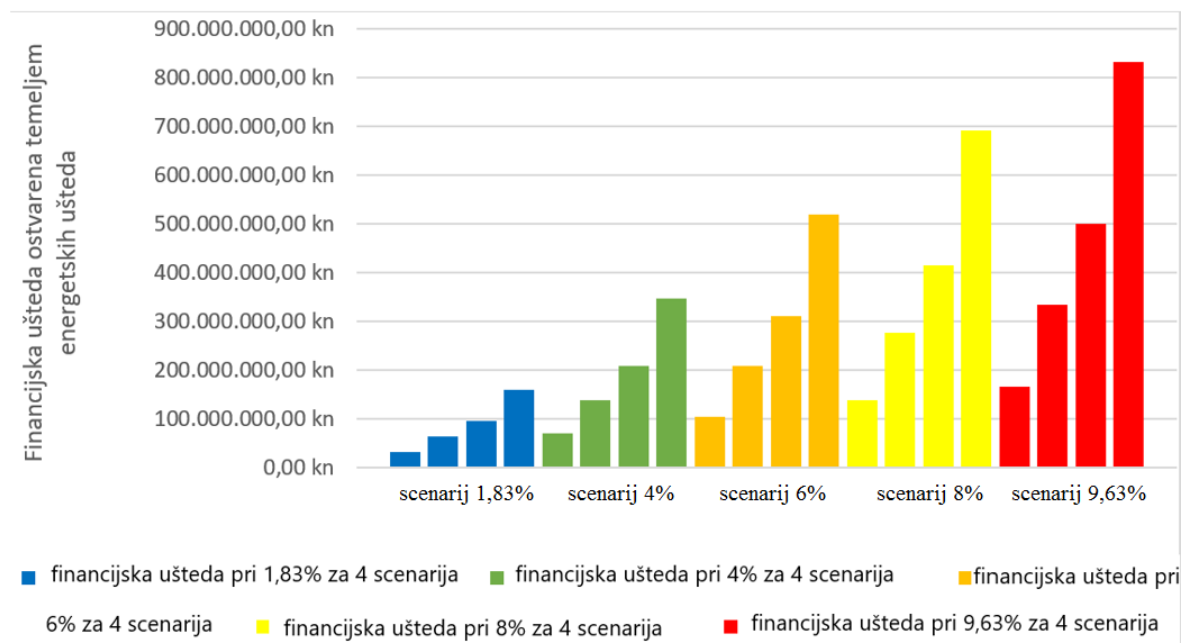


Grafički prikaz 6-4. Ušteda energije kroz četiri scenarija implementacije pametnih brojila i 5 scenarija postotaka energetske uštede

U slučaju kada bi postotna energetska ušteda ostvarena primjenom pametnih brojila bila jednaka 1,83%, nakon 20%-tne implementacije realizirala bi se energetska ušteda od 109,38 GWh, međutim, kad bi sva obračunska mjerna mjesta bila opremljena pametnim brojlilima pri navedenom postotku energetske uštede, ušteda bi u tom slučaju iznosila 546,9 GWh. Takva ušteda ostvarila bi se kroz 10 godina provedbe implementacije. S druge pak strane, u *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28* dokumentu navodi se maksimalni postotak uštede primjenom pametnih plinskih brojila od 9,63%. U tom bi slučaju 20%-tna ugradnja pametnih brojila u RH donijela kumulativne uštede od 575,59 GWh, a maksimalna energetska ušteda (100%-tna implementacija pametnih plinskih brojila uz vrijednost energetske uštede od 9,63%) iznosila bi 2.877,94 GWh, ostvareno kroz 10 godina.

Financijske uštede su, jednako kao i energetske, promatrane kroz pet scenarija postotne vrijednosti uštede primjenom pametnih brojila. U ovoj analizi, prilikom računanja financijskih ušteda za potrošače, u obzir nisu uzete emisijske uštede. Naime, emisijske uštede trenutno predstavljaju mali udio u ukupnim uštedama ostvarenim primjenom pametnih brojila, međutim, u budućnosti će one vjerojatno imati veći utjecaj, posebice ako se uvede najavljeni porez na ugljik (engl. *carbon tax*). Posebno je napravljena analiza financijskih ušteda temeljena na energetskim uštedama (za potrošače), a posebno kroz operativne uštede (za operatore).

Financijske uštede kvantificirane kroz energetske uštede dobivene su umnoškom količina ušteda energije i cijene prirodnog plina s PDV-om. Na grafičkom prikazu 6-5 nalazi se financijska ušteda temeljena na energetskej uštedi.



Grafički prikaz 6-5. Financijska ušteda ostvarena temeljem energetskej ušteda

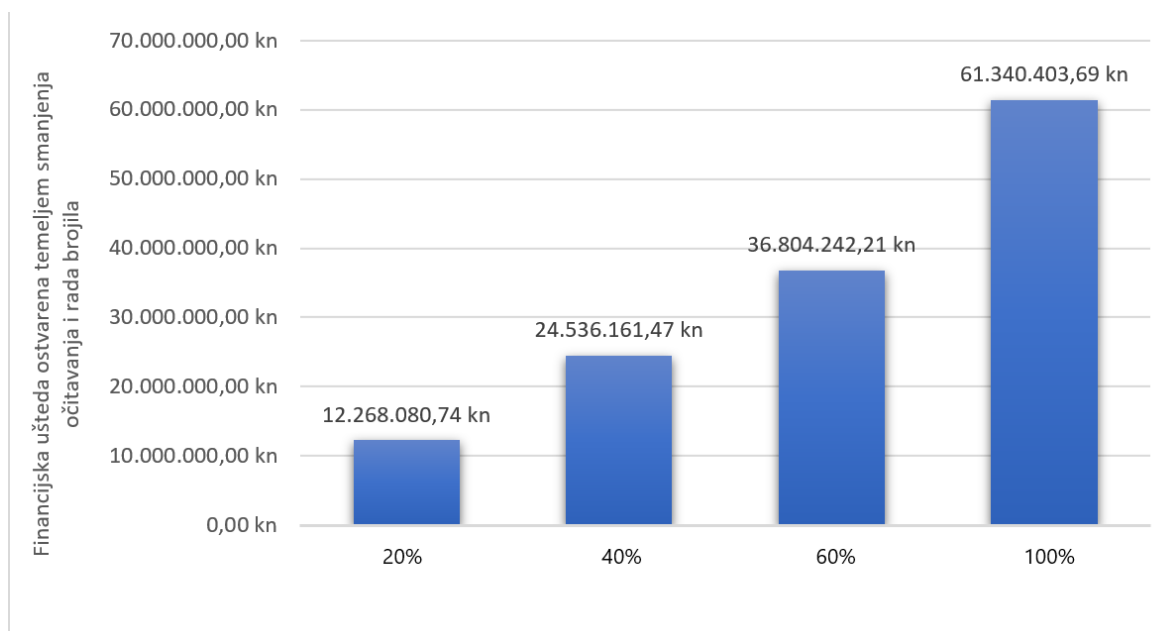
Dobiveni podaci navode financijsku uštedu primjenom 20% implementacije pametnih brojila od 31.665.439,64 kn uzimajući u obzir energetske uštede od 1,83%, dok je potpunom implementacijom moguće ostvariti uštedu od 158.327.198,21 kn. Primjenom maksimalne vrijednosti uštede energije od 9,63%, ugradnjom 20% pametnih plinskih brojila uštedjelo bi se 166.632.887,30 kn, dok bi maksimalna financijska ušteda kroz uštedu energije bila 833.164.436,50 kn. Također, navedeno predstavlja kumulativne uštede ostvarene kroz 10 godina.

Financijska ušteda temeljena na smanjenju operativnih troškova promatrana je kroz dva konkretna operativna postupka. Prvi od njih je smanjenje očitavanja i rada brojila (engl. *Reduction in meter reading and operation*). Analiza je izrađena na temelju pretpostavke jednakih vrijednosti operativnih troškova za plin i za električnu energiju. Naime, u dokumentu *Study on cost benefit analysis of Smart Metering Systems in EU Member States* izdanom 2015. godine od strane AF Mercados EMI, madridske konzultantske tvrtke uz pomoć Instituta za komunikacije i računalne sustave Nacionalnog tehničkog sveučilišta u Ateni ICCS-NTUA, CBA analize obuhvaćaju samo pametna brojila električne energije, dok

podaci za plin nisu dostupni. Isto tako, u navedenom dokumentu nema podataka za Republiku Hrvatsku, vjerojatno zbog činjenice da je dokument izrađen niti dvije godine nakon ulaska RH u EU.

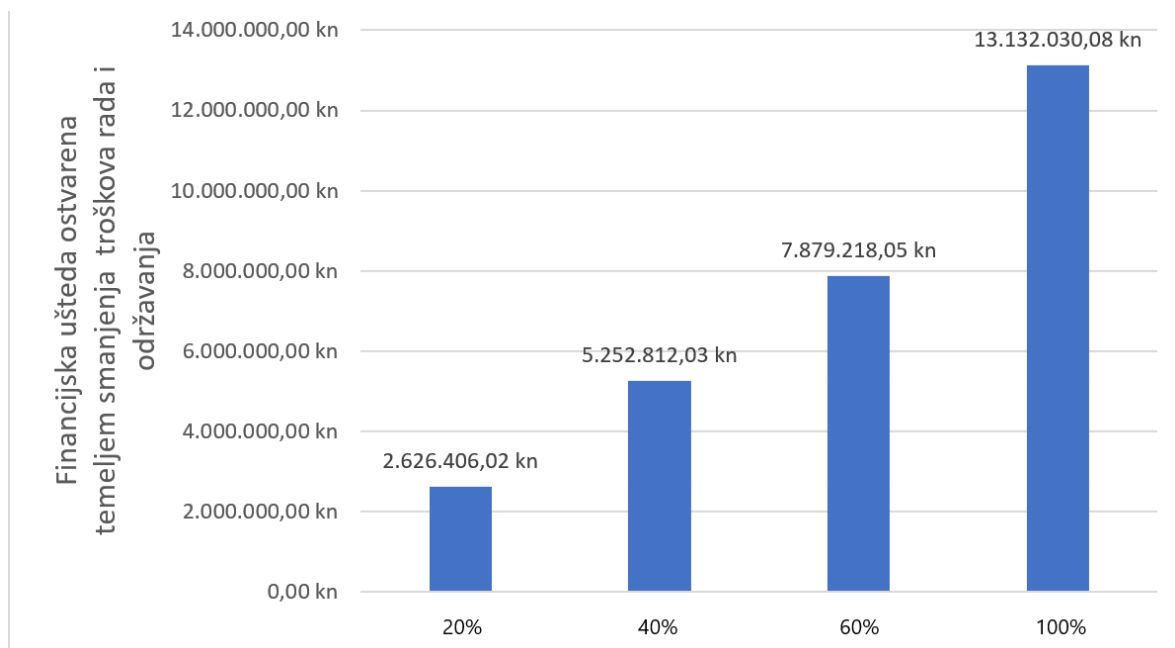
Stoga, kao prednost kvantificiranu smanjenjem navedenog operativnog troška, uzet je ponderirani prosjek zemalja sličnih (prvenstveno gledajući ekonomsku situaciju) RH: Rumunjske, Češke Republike, Mađarske te Slovačke Republike. U spomenutom se navode prosječne koristi po mjernom mjestu temeljenom na razdoblju modeliranja od 15 godina. Dakle, izračunavanjem ponderiranog prosjeka operativne uštede navedenih zemalja članica EU te dijeljenjem s brojem godina modeliranja dobivena je godišnja vrijednost operativnih ušteta zbog smanjenja očitavanja i rada brojila od 2,37 €/OMM. Navedeni iznos množen je s vrijednošću gore navedenog srednjeg deviznog tečaja i s brojem ugrađenih brojila. Na taj način dobivene su vrijednosti financijskih ušteta kroz smanjenje operativnog troška smanjenja očitavanja i rada brojila.

U scenariju implementacije 20% pametnih plinskih brojila, nakon deset godina ostvarila bi se ušteta od 12.268.080,74 kn, dok bi 100%-tnom ugradnjom ona narasla na čak 61.340.403,69 kn (grafički prikaz 6-6).



Grafički prikaz 6-6. Financijska ušteta ostvarena temeljem smanjenja očitavanja i rada brojila

Drugi operativni postupak proveden analizom je smanjenje troškova rada i održavanja (engl. *Reduction in operating & maintenance costs*). Financijska ušteda temeljena na smanjenju troškova rada i održavanja dobivena je na gotovo identičan način kao u prethodnom primjeru. Jedina razlika je u tome što je ovdje kao referentna zemlja uzeta samo Slovačka Republika, budući da podaci za ostale tri zemlje nisu dostupni. Operativna ušteda dijelila se s brojem godina modeliranja (15), a dobivena je godišnja vrijednost smanjenja operativnog troška zbog smanjenja troškova rada i održavanja od 0,51 €/OMM. I ovdje se dobiveni iznos množio s vrijednošću srednjeg deviznog tečaja i s brojem ugrađenih brojila, a dobivene vrijednosti predstavljaju financijsku uštedu zbog smanjenja troškova rada i održavanja. U scenariju implementacije 20% pametnih plinskih brojila, nakon deset godina ostvarila bi se ušteda od 2.626.406,02 kn, dok bi 100%-tnom ugradnjom ona skočila na 13.132.030,08 kn (grafički prikaz 6-7).



Grafički prikaz 6-7. Financijska ušteda ostvarena smanjenjem troškova rada i održavanja

Implementacija pametnih plinskih brojila u Republici Hrvatskoj trenutna je obaveza za potrošače koji pripadaju tarifnim modelima od TM6-TM12. Kako bi utvrdili isplativost implementacije istih u kategoriji kućanstvo, neki ODS-ovi provode vlastite CBA analize kako bi se za područje koje oni vode, održavaju i razvijaju utvrdila isplativost ugradnje pametnih brojila, te u skladu s tim osiguralo precizno mjerenje potrošnje plina i očitavanja mjernih uređaja.

7. ZAKLJUČAK

Usprkos činjenici da Europska unija svoje ciljeve i strategije usmjerava prema intenzivnijem iskorištavanju alternativnih, obnovljivih izvora energije, težnji ka dekarbonizaciji kroz smanjenje emisija i povećanju energetske učinkovitosti, prirodni plin i dalje će imati ključnu ulogu u bilanci potrošnje energetskog sektora.

Usvajanje tehnologije pametnog mjerenja na tržištu plina bilo je sporije nego za električnu energiju, ali sada ubrzava. Pametna plinska mreža vrlo brzo se razvija, ponajviše zbog drastičnog uspona PtG tehnologija, vodika i biogoriva te se polako približava razini elektroenergetske mreže. Od komunikacijskih tehnologija, najviše su u primjeni radio-frekvencijske RF mreže gdje su se neke države članice odlučile koristiti određenu frekvenciju (169MHz ili 868MHz), dok se većina još nije opredijelila koju frekvenciju koristiti. Međutim, budućnost predviđa korištenje IoT tehnologije interneta stvari čija bi primjena u narednom desetljeću trebala naglo ekspanirati, ponajviše zbog prednosti u pogledu velike rasprostranjenosti i odlične kvalitete signala.

Prednosti tehnologije pametnog mjerenja plina su nebrojene i ostvaruju ih svi sudionici na plinskom tržištu. Potrošači postaju svjesniji vlastite potrošnje te imaju mogućnost upravljati istom, opskrbljivači mogu vršiti kvalitetnije naplate, kao i mogućnost očitavanja u gotovo stvarnom vremenu, ODS-ovi mogu poboljšati distributivnu mrežu, a poticanje energetske učinkovitosti i smanjenja CO₂ donijeti će prednosti svima.

Projekti implementacije pametnih mjernih sustava sve više dolaze do izražaja, kako u Europi, tako i u RH. Implementacija plinskih pametnih brojila u različitim je fazama razvoja u državama članicama Europske unije zajedno s UK-om. Većina europskih zemalja u kojima je plin glavni izvor energije provode analizu troškova i koristi pametnog mjerenja na zahtjev EU. Najnaprednije članice EU po pitanju razvoja tehnologije pametnog mjerenja plina trenutno su Italija, Francuska, Velika Britanija i Nizozemska. Ipak, šest zemalja, Češka Republika, Njemačka, Portugal, Rumunjska, Slovačka Republika i Španjolska, su imale negativnu analizu troškova i koristi i smatra se da neće krenuti s implementacijom, barem ne u bliskoj budućnosti.

Hrvatska, također, nastoji pratiti razvoj tehnologije i držati korak s ostalim članicama EU, pa su tako i pojedine distribucijske tvrtke provele vlastite CBA analize te su pokrenule pilot

projekte pametnog mjerenja plina. HEP Plin d.o.o. u ovoj godini uspješno je krenuo s projektom implementacije pametnih brojila za kućanstva, gdje se trenutno vrše probna testiranja na nekoliko lokacija kako bi se utvrdila isplativost ovog tehnološki važnog projekta. Odabrali su Sigfox mrežu zbog prednosti koje ona nudi u pogledu široke rasprostranjenosti, visoke pouzdanosti i niske energetske potrošnje. Očekuje se da će masovna implementacija pametnih plinskih brojila za kućanstva krenuti u vrlo bliskoj budućnosti.

Kroz analizu nekoliko scenarija, napravljenu ravnomjernom raspodjelom implementacije pametnih plinskih brojila, mogu se vidjeti pozitivni rezultati gdje bi se nakon 10 godina ostvarile vrlo značajne uštede. Naime, analizom je dobiveno kako je moguće ostvariti energetske uštede nešto manje od 3 TWh kroz razdoblje od 10 godina, što svakako ide u prilog europskim ciljevima povećanja energetske učinkovitosti, ali i smanjenja emisija, ponajprije CO₂. Osim energetske, analizom su utvrđene i značajne financijske uštede. Naime, kroz razdoblje od 10 godina moguće je ostvariti financijske uštede od nešto više od 800 milijuna kuna kroz energetske uštede. Druga financijska ušteda, kao rezultat smanjenja očitavanja i rada brojila iznosila bi čak 60 milijuna kuna, dok je smanjenjem troškova rada i održavanja moguće uštedjeti oko 13 milijuna kuna. Navedeni iznosi su kumulativne uštede u razdoblju od 10 godina, koliko je vijek plinomjera prije nego ode na umjeravanje. Navedene bi uštede svakako bile usklađene sa Strategijom energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, ali i brojnim drugim propisima koje EU stavlja za cilj svim državama članicama. Analizirani scenariji pokazuju da svakako ima potencijala za ostvarivanje ogromnih energetske i financijske ušteda, a očekuje se da će upotreba pametnih brojila rezultirati značajnim povećanjem funkcionalnosti, učinkovitosti i pouzdanosti budućih sustava na plinskom tržištu.

8. LITERATURA

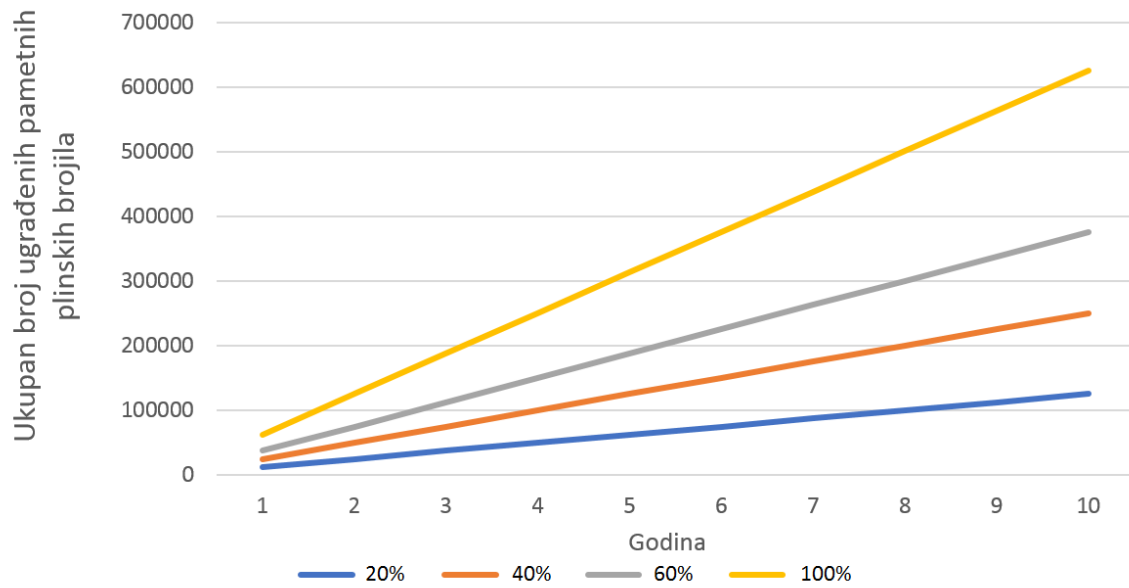
1. AF MERCADOS EMI & INSTITUT ZA KOMUNIKACIJE I RAČUNALNE SUSTAVE NACIONALNOG TEHNIČKOG SVEUČILIŠTA U ATENI ICCS-NTUA, 2015. Study on cost benefit analysis of smart metering systems in EU Member States. Finalno izvješće.
2. AVANCINI, D. B. ET AL., 2019. Energy meters evolution in smart grids: A review. Journal of Cleaner Production, 217, str. 702-715.
3. CRNIČKI, B., 2019. Kako globalna IoT mreža može promijeniti poslovanje? Zbornik sažetih radova 34. Međunarodnog znanstveno-stručnog susreta stručnjaka za plin. Opatija, 2019.
4. DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY, 2018. Smart meters: unlocking the future. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/770575/Smart_meters_Unlocking_the_future.pdf (31.08.2020.)
5. DEPARTMENT FOR BUSINESS, ENERGY & INDUSTRIAL STRATEGY, 2020. Smart Meter Statistics in Great Britain: Quarterly Report to end June 2020 URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/912324/Q2_2020_Smart_Meters_Statistics_Report_FINAL.pdf (27.8.2020.)
6. DRŽAVNI ZAVOD ZA MJERITELJSTVO, 2018. Pravilnik o izmjenama pravilnika o ovjernim razdobljima za pojedina zakonita mjerila i načinu njihove primjene i o umjernim razdobljima za etalone koji se upotrebljavaju za ovjeravanje zakonitih mjerila. NN 66/2018, 26.08.2020.
7. ENERGETIKA.NET, 2018. Pametno mjerenje - Smart Metering. URL: <http://www.energetika-net.com/specijali/izdvajamo/pametno-mjerenje-smart-metering-26634> (27.08.2020.)
8. ENERGETIKA.NET, 2019. Kako se vara na potrošnji struje i plina. URL: <http://www.energetika-net.com/vijesti/energetsko-gospodarstvo/kako-se-vara-na-potrosnji-struje-i-plina-27939> (29.08.2020.)
9. ENERGETIKA.NET, 2020. Krenuo najveći hrvatski IoT projekt digitalizacije plinomjera URL: <http://www.energetika-net.com/vijesti/plin/krenuo-najveci-hrvatski-iot-projekt-digitalizacije-plinomjera-30606> (02.09.2020.)
10. EUROPEAN COMMISSION, 2014a. Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity. Izvješće. Bruxelles: Europska komisija.

11. EUROPEAN COMMISSION, 2014b. Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27. Benchmarking smart metering deployment in the EU-27 with a focus on electricity. Izvješće. Bruxelles: Europska komisija.
12. EUROPEAN COMMISSION, 2020. Quarterly Report on European Gas Markets. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/quarterly_report_on_european_gas_markets_q1_2020.pdf (05.09.2020)
13. EUROSTAT, 2019. Digital literacy. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Digital_literacy (06.09.2020)
14. EUROSTAT, 2020a. Level of internet access – households. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00134/default/table?lang=en> (28.08.2020)
15. EUROSTAT, 2020b. Final energy consumption in households by fuel. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rk210&language=en (05.09.2020.)
16. GAVRA, L., ET AL. (2012). Residential smart gas meters. 2012 10th International Symposium on Electronics and Telecommunications.
17. GEELEN, D. ET AL., 2019. The use of apps to promote energy saving: a study of smart meter-related feedback in the Netherlands. Springer Nature.
18. GRADSKA PLINARA ZAGREB, 2018. Upute za projektiranje i izvođenje daljinskog očitavanja potrošnje plina. URL: http://www.plinara-zagreb.hr/UserDocsImages/arhiva/Interni_Tehnicki_Propisi/GPZ%20-%20U%20615_18.pdf (22.08.2020)
19. GRDF, 2020. Smart Gas Grid, boosting the energy transition. URL: <https://www.grdf.fr/grdf-en/grdf-en/smart-gas-grid-energy-transition-booster> (30.08.2020)
20. HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA, 2016b. Kupac s vlastitom proizvodnjom. URL: <https://www.hep.hr/ods/korisnici/kupac-s-vlastitom-proizvodnjom/29> (10.09.2020)
21. HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA, 2016b. Cijene plina za kućanstva. URL: <https://www.hep.hr/plin/cijene-plina-i-usluga/cijene-plina/cijene-plina-za-kucanstva/1620> (28.08.2020)
22. HRVATSKA ENERGETSKA REGULATORNA AGENCIJA (HERA), 2018a. Mrežna pravila plinskog distribucijskog sustava, NN 50/2018, 1.6.2018.

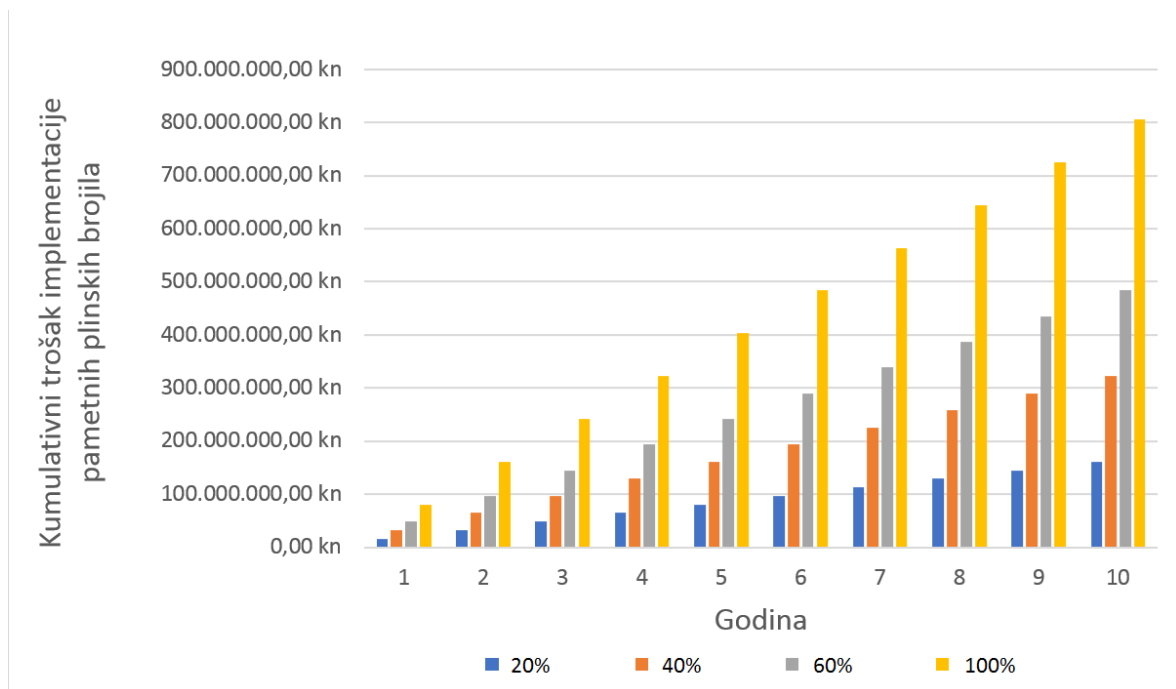
23. HRVATSKA ENERGETSKA REGULATORNA AGENCIJA (HERA), 2018b. Metodologija utvrđivanja iznosa tarifnih stavki za distribuciju plina, NN 48/2018, 25.5.2018.
24. HRVATSKA STRUČNA UDRUGA ZA PLIN (HSUP), 2020. Plinsko gospodarstvo Republike Hrvatske. Brošura. URL: https://hsup.hr/wp-content/uploads/2020/06/Bro%C5%A1ura-PGH_2019.pdf (26.08.2020)
25. HRVATSKI SABOR, 2012a. Zakon o energiji, NN 120/12, 14/14, 102/15, 68/18, Zagreb, 19.10.2012
26. JUKIĆ L., NOSIĆ A., KARASALIHović- SEDLAR D., 2017. Termenska i opcijska tržišta ugljikovodika. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Vol. 32 No. 4.
27. JUKIĆ, L. & KARASALIHović-SEDLAR, D., 2017. Utjecaj Strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske na energetski sektor nafte i plina. Nafta i Plin, Vol. 37. No. 152, str. 36-46.
28. KOCHAŃSKI, M. ET AL, 2020. Technology Innovation System Analysis of Electricity Smart Metering in the European Union. Energies, 13(4), 916.
29. KODBA, D. & ŠANJEK, B., 2018. Iskustva u implementaciji ultrazvučnih plinomjera veličine G-4 s daljinskim očitanjem i daljinski upravljanim zapornim ventilom na distribucijskom sustavu Termoplin d.d. Varaždin.
30. KUZLU, M. ET AL., 2014. Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. Computer Networks, 67, str. 74–88.
31. KÜPPER, G. ET AL., 2018. Format and procedures for electricity (and gas) data access and exchange in Member States, Final Report. URL: https://asset-ec.eu/wp-content/uploads/2018/11/20180405-Data-Format-and-Procedures.Final-report.Tractebel.vf_corrected-format.pdf (21.08.2020.)
32. LNG HRVATSKA, 2020. URL: <https://lng.hr/popunjen-je-sav-slobodni-kapacitet-terminala> (01.09.2020)
33. MARCOGAZ, 2015. Smart Energy Grid aspects related to Gas. URL: <file:///C:/Users/Test/Downloads/TF-SGG-14-12.pdf> (31.08.2020)
34. MOGLES, N. ET AL., 2017. How smart do smart meters need to be? Building and Environment, 125, str. 439–450.
35. NETOKRACIJA, 2020. Tvoj plinomjer je upravo postao gadget, zahvaljujući ByteLabu i partnerima. URL: <https://www.netokracija.com/hep-plin-startupi-iot-169206> (02.09.2020.)

36. POLL, E. & VAN AUBEL, P., 2019. Smart metering in the Netherlands: What, how, and why. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 109, str. 719–725.
37. PRVO PLINARSKO DRUŠTVO, 2017. Što donosi liberalizacija tržišta plina za kućanstva. URL: <https://www.ppd.hr/sto-donosi-liberalizacija-trzista-plina-za-kucanstva-v10> (31.08.2020.)
38. RYBERG, T., 2018. *Smart metering in Europe*. 14. izd. Gothenburg: Berg Insight.
39. ROCHAS, C. ET AL., 2008. *Definition of Smart Metering and Applications and Identification of Benefits*. Izvješće. UK: European Smart Metering Alliance, ESMA. Broj izvještaja: Isporučivo 3, Verzija 1.1.
40. SHARMA, K., & MOHAN SAINI, L., 2015. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, str. 720–735.
41. SHIRANI, F. ET AL., 2020. “I’m the smart meter”: Perceptions of smart technology amongst vulnerable consumers. *Energy Policy*, 144, 111637.
42. SIGFOX, 2020. Sigfox coverage. URL: <https://www.sigfox.com/en/coverage> (02.09.2020.)
43. SIMPLEIOT, 2020. HEP-Plin digitize their gas meters in Croatia URL: <https://www.simpleiot.ro/2020/06/26/hep-plin-digitize-their-gas-meters-in-croatia/> (01.09.2020)
44. SMART ENERGY GB, 2017. URL: www.smartenergygb.org (20.08.2020)
45. STAGNARO, C., & BENEDETTINI, S., 2020. Smart meters: the gate to behind-the-meter? *Behind and Beyond the Meter*, str. 251–265.
46. TOUNQUET, F. ET AL., 2018. *Consumer Satisfaction KPIs for the rollout of Smart Metering in the EU Member States*. Statistical Report. Asset.
47. TOUNQUET, F. ET AL., 2019. *Benchmarking smart metering deployment in the EU-28*. Izvješće. Bruxelles: Europska komisija.
48. VAN GERWEN, R. ET AL., 2010. *Smart meters in the Netherlands; Revised financial analysis and policy advice*. Report. Arnhem: KEMA.
49. VIŠTICA, N. ET AL., 2017. Implementacija europske plinske regulative u Republici Hrvatskoj, *Nafta i Plin* 37, No. 152, str. 81-91.
50. VLADA REPUBLIKE HRVATSKE, 2020. URL: <https://vlada.gov.hr/vijesti/coric-kapaciteti-lng-terminala-na-krku-popunjeni-plin-bi-mogao-pojeftiniti/29746> (04.09.2020)

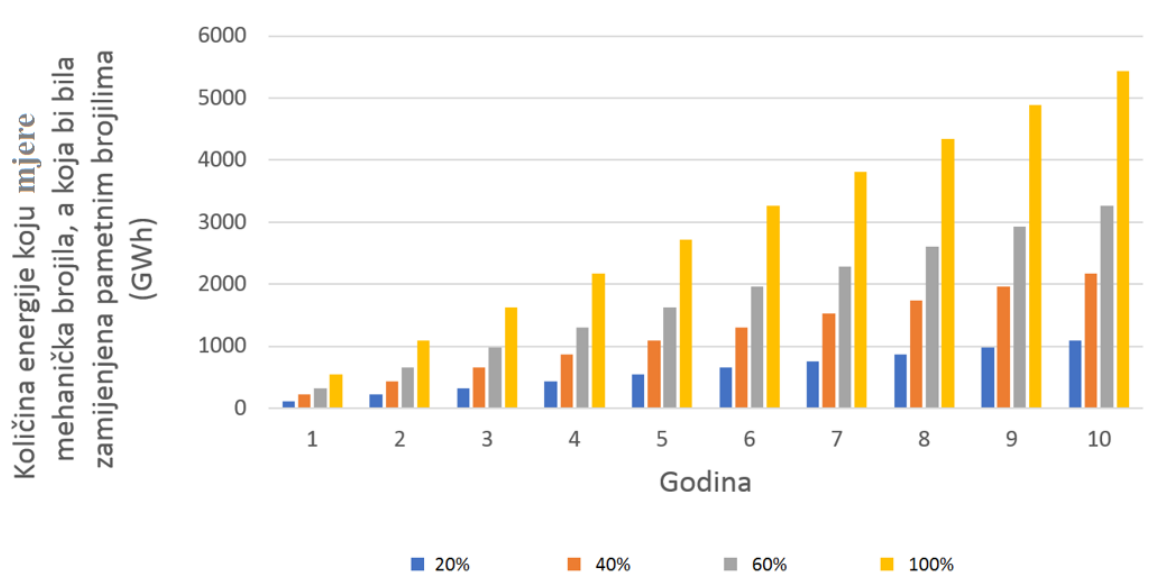
PRILOZI



Prilog 1. Ukupan broj ugrađenih pametnih plinskih brojila za četiri scenarija



Prilog 2. Kumulativni trošak implementacije pametnih plinskih brojila za četiri scenarija



Prilog 3. Količina energije koju mjere mehanička brojila, a koja bi bila zamijenjena pametnim brojilima (GWh)

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Ivan Barišić

Ivan Barišić



KLASA: 602-04/20-01/198
URBROJ: 251-70-03-20-2
U Zagrebu, 16.09.2020.

Ivan Barišić, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/198, UR. BROJ: 251-70-12-20-1 od 06.08.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

IMPLEMENTACIJA PAMETNIH PLINSKIH BROJILA U EUROPI

Za voditeljicu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o diplomskom ispitu dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Prof. dr. sc. Daria Karasalihović
Sedlar

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Doc. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)