Pametna plinska brojila i centralni toplinski sustavi grijanja

Vukoja, 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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:181238

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







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

PAMETNA PLINSKA BROJILA I CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI GRIJANJA

Diplomski rad

Ivan Vukoja
N281

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PAMETNA PLINSKA BROJILA I CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI GRIJANJA

IVAN VUKOJA

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i energetiku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Pametna brojila, kao dio pametnih mreža, su se razvijala tijekom godina kako je infrastruktura elektroenergetskog sustava zahtijevala učinkovitu inicijativu za upravljanje energijom. Osnovni izazov neučinkovite uporabe energije u pretpostavkama potrošača, u društvu koje potiče uštede energije, dovelo je do razvoja pametnih mjernih rješenja. Bez opsežnih i detaljnih podataka o mjerenjima potrošnje plina i topline vrlo je teško proizvesti učinkovit, fleksibilan i precizan centralni toplinski sustav grijanja. Ovaj rad pruža opsežni pregled centralnih toplinskih sustava grijanja usmjerenih na distribucijsku mrežu topline. U tu su svrhu opisane i raspravljene glavne komponente centralnih toplinskih sustava grijanja, a četvrta generacija centralnih toplinskih sustava grijanja smatra se budućnošću, ali bit će potrebna veća učinkovitost, veći stupanj fleksibilnosti i bolja upotreba nego danas.

Ključne riječi: plinska brojila, pametna plinska brojila, toplinska brojila, centralni toplinski sustav za grijanje, četvrta generacija centralnog toplinskog sustava za grijanje

Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 35 slika, 7 tablica, 40 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Mentor: 1. Dr. sc. Daria Karasalihović Sedlar, redovita profesorica RGNF

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

2. Dr. sc. Luka Perković, docent RGNF

3. Dr. sc. Nikola Vištica, docent RGNF

Datum obrane: 27.11.2020., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

SMART GAS METERING AND DISTRICH HEATING SYSTEMS

IVAN VUKOJA

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

Abstract

Smart metering, a subset of the smart grid architecture, has evolved over the years as power system infrastructure demanded efficient energy management initiative. The basic challenge of inefficient energy utilisation in consumer premise, in an energy saving driven society, has led to the development of smart metering solutions. Without extensive and detailed measurement data, regarding gas and heat utilization measurement, efficient, flexible and precise district heating system is very difficult to produce. This thesis provides an extensive survey of district heating systems, focused on the heat distribution network. For this purpose, the major components of a district heating system have been described and discussed and the 4th Generation of District Heating systems has been singled out as future of district heating systems. However, for that to really come true, greater efficiency, higher degree of flexibility and better utilisation than are available today will be required.

Keywords: gas meters, smart gas meters, smart heat meters, district heating system, 4th Generation District Heating

Thesis contains: 65 pages, 35 figures, 7 tables, 40 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of the Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Supervisor: 1. Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

Reviewers: 1. Full Professor Daria Karasalihović Sedlar, PhD

2. Assistant Professor Luka Perković, PhD

3. Assistant Professor Nikola Vištica, PhD

Date of defense: 27th of November, 2020, University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

SADRŽAJ

POPIS SLIKA i
POPIS TABLICA iii
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA iv
POPIS KORIŠTENIH KRATICA v
1. UVOD 1
2. PLINSKA BROJILA 2
2.1. PROTUPOVRATNA PLINSKA BROJILA 2
2.1.1. *Membranska plinska brojila* 2
2.1.2. Plinska brojila s rotacijskim klipovima 4
2.2. INDIREKTNA PLINSKA BROJILA 5
2.2.1. Turbinska plinska brojila 5
2.2.2. Plinska brojila s preprekom u protoku 7
2.3. OSTALI TIPOVI PLINSKIH BROJILA 8
2.3.1. Ultrazvučna plinska brojila 8
2.3.2. Coriolis plinska brojila 10
2.4. PLINSKA BROJILA PREMA TIPU PRIKAZA PODATAKA 11
2.4.1. Plinska brojila s analognim (mehaničkim) prikazom 11
2.4.2. Plinska brojila s digitalnim prikazom 11
2.4.3. Plinska brojila s brojčanicima 12
3. PAMETNA PLINSKA BROJILA 13
3.1. NAPREDNA MJERNA INFRASTRUKTURA 14
3.1.1. Komunikacijska mreža 15
3.1.2. Sustav za upravljanje podacima (DMS) 17
3.2. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE UNUTAR KOMUNIKACIJSKE MREŽE 19
3.2.1. Wavenis 19
3.2.2. Plextek 19
3.2.3. EverBlu 20
3.2.4. Bluetooth 20
3.2.5. WPAN 20
3.2.6. 6LoWPAN 20
3.2.7. Zigbee 21
3.2.8. 2G/2.5G GSM/GPRS 21
3.2.9. WLAN/WiFi 22
3.2.10. WiMAX 22

3.2.11. LoRa ... 23
3.2.12. Sigfox ... 24
3.2.13. Bežični M-Bus ... 24
3.2.14. NB IoT ... 25
3.3. VIDNO POLJE ... 25
3.4. DOSTUPNE TEHNOLOGIJE MEĐU PAMETNIM BROJILIMA PLINA U HRVATSKOJ I REGIJI ... 26
4. PAMETNA TOPLINSKA BROJILA ... 28
4.1. KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE PAMETNIH TOPLINSKIH BROJILA ... 31
4.2. PRIMJER: M-BUS PAMETNO TOPLINSKO BROJILO ... 37
5. UNAPREĐENJE CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA GRIJANJA UZ POMOĆ PODATAKA PAMETNIH BROJILA ... 38
5.1. ENERGETSKI PROFIL OPTEREĆENJA SUSTAVA I RAZNOLIKOST ENERGETSKIH PROFILA ... 39
5.2. PODACI I METODE PROJEKTA EDRP ... 41
5.3 REZULTATI I ZAKLJUČCI PROJEKTA EDRP ... 42
6. UNAPRIJEĐENI (PAMETNI) CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI ZA GRIJANJE ... 46
6.1. STRUKTURA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA ZA GRIJANJE ... 48
6.1.1. Postrojenje za proizvodnju topline ... 48
6.1.2. Distribucijska mreža ... 50
6.1.3. Sustav krajnjih korisnika ... 53
6.2. CILJEVI CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA GRIJANJA ... 53
6.3. ČETVRTA GENERACIJA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA ... 56
6.3.1. Sposobnost opskrbe niskotemperaturnog centralnog toplinskog sustava grijanja za prostorno grijanje i sposobnost opskrbe tople vode u kućanstvima ... 58
6.3.2. Sposobnost distribucije topline u mrežama s malim mrežnim gubitcima ... 58
6.3.3. Sposobnost korištenja obnovljive i otpadne topline iz nisko temperaturnih izvora ... 59
6.3.4. Sposobnost da budu dio pametnih energetskih sustava ... 59
6.3.5. Uloga četvrte generacije centralnih toplinskih sustava grijanja u nacionalnim energetskim sustavima ... 60
7. ZAKLJUČAK ... 61
8. LITERATURA ... 62

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Presjek membranskog plinskog brojila Elster BK-G6 3
Slika 2-2. Princip rada membranskog plinskog brojila 4
Slika 2-3. Princip rada plinskog brojila s rotacijskim klipovima 4
Slika 2-4. Plinsko brojilo s rotacijskim klipovima 5
Slika 2-5. Komponente turbinskog plinskog brojila 5
Slika 2-6. Turbinska plinska brojila 6
Slika 2-7. Osnovni koncept plinskog brojila s preprekom u protoku 7
Slika 2-8. Shema ultrazvučnog mjerila protoka 8
Slika 2-9. Ultrazvučno kućansko plinsko brojilo 9
Slika 2-10. Coriolis plinsko brojilo 10
Slika 2-11. Analogni prikaz 11
Slika 2-12. Digitalni prikaz 11
Slika 2-13. Prikaz s brojčanicima 12
Slika 3-1. Modul APULSE X373, bežični prikupljač podatka s radiofrekvencijskom (RF) tehnologijom 17
Slika 3-2. XLOG GSM/GPRS prikupljač podataka s baterijskim pogonom (MICRO EL, 2012.) 17
Slika 3-3. Različiti moduli sustava za upravljanje podacima (DMS) 18
Slika 3-4. Struktura GSM mreže 22
Slika 3-5. Dijagram LoRa mreže 23
Slika 3-6. Sigfox arhitektura 24
Slika 3-7. Vidno polje 26
Slika 4-1. Shema proračuna toplinskog brojila 29
Slika 4-2. Centralne grijaće/rashladne konfiguracije 30
Slika 4-3. Shema prikupljanja podataka u sustavu centralne distribucije proizvedene topline 32
Slika 4-4. Model mreže s velikom količinom mjesta odašiljača podataka 34
Slika 4-5. Model mreže s manjom količinom mjesta odašiljača podataka 34
Slika 4-6. M-Bus pametno toplinsko brojilo 37
Slika 4-7. M-Bus pametno toplinsko brojilo 37
Slika 5-1. Profili potrošnje plina i električne energije s obzirom na intervale mjerenja za razdoblje od 01.06.2009. do 31.05.2010 43
Slika 5-2. Utjecaj učestalosti mjerenja na prosječnu vršnu potrošnju plina i električne energije i varijacije 43

Slika 5-3. Satni profili potrošnje plina i električne energije u odnosu na vanjsku temperaturu u 2009. godini 44
Slika 6-1. Glavne komponente centralnog toplinskog sustava za grijanje 48
Slika 6-2. Shematski dijagram centralnog toplinskog sustava za grijanje 50
Slika 6-3. Topološki prikaz distributivne mreže 51
Slika 6-4. Poveznica između korisnika i distribucijske mreže topline 53
Slika 6-5. Ključni elementi koncepta četvrte generacije centralnih toplinskih sustava grijanja 57

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Prednosti i nedostatci turbinskih plinskih brojila 6
Tablica 2-2. Prednosti i nedostatci plinska brojila s preprekom u protoku 7
Tablica 2-3. Prednosti i nedostatci ultrazvučnih plinska brojila 9
Tablica 2-4. Prednosti i nedostatci Coriolis plinskih brojila 10
Tablica 5-1. Godišnja potrošnja plina i električne energije u različitim tipovima građevina i različite starosti 44
Tablica 6-1. Razvoj centralnih toplinskih sustava za grijanje u nekim državama EU-a 47
Tablica 6-2. Različiti tipovi DH mreža 52

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

T – temperatura [ºC]

E – energija [J] [kWh]

f – frekvencija [Hz][MHz]

P – snaga [W][kW][GW]

POPIS KORIŠTENIH KRATICA

AMI – napredna mjerna infrastruktura (*engl. Advanced Metering Infrastructure*)

AMR – napredno mjerno očitavanje (*engl. Advanced Metering Reading*)

CO_2– ugljikov (IV) oksid

CSD – kružno izmijeni podaci (*engl. circuit switched data*)

DH – centralni toplinski sustav za grijanje (*engl. District heating*)

DHW – topla voda u kućanstvu (*engl. Domestic Heat Water*)

DMS – sustav za upravljanje podacima (*engl. Data Management System*)

EDRP – projekt za istraživanje potražnje za energijom (*engl. Energy Demand Research Project*)

EU – Europska unija

GPRS – podatkovna IT usluga (*engl. General Packet Radio Service)*

GPS – sustav za globalno pozicioniranje (*engl. Global Positioning System*)

GSM – globalni sustav za mobilnu komunikaciju (*engl. Global System for Mobile Communications*)

HAN – mreža u domaćinstvu (*engl. Home Area Network*)

HT – visoka temperatura (*engl. high temperature*)

HVAC – grijanje, ventilacija i hlađenje (*engl. Heating, Ventilation and Air Conditioning*)

IEEE - Institut električnih i elektroničkih inženjera (*engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

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

ISM – industrijski, znanstveni i medicinski (*engl, Industrial, scientific and medical*)

LAN –lokalna mreža (*engl. Local Area Network*)

LCD – zaslon s tehnologijom tekućih kristala (*engl. Liquid Crystal Display*)

LoRa – dugi domet (*engl, Long Range*)

LOS –vidno polje*(engl. Line of sight*)

NB – uski pojas (*engl. narrowband*)

NO_X– dušikovi oksidi

PAN – privatna mreža (*engl. personal Area Network*)

P2M – od točke to više točaka (*engl. point to multipoint*)

P2P – od točke to točke (*engl. point to point*)

RF – radio frekvencija (*engl. radiofrequency*)

RH – Republika Hrvatska

RHI – inicijativa za obnovljivom toplinom (*engl. renewable heat incentive*)

ROM – memorija samo za čitanje (*engl. read only memory*)

SG – pametna mreža (*engl. Smart Grid*)

SO_X– sumporovi oksidi

UHF – vrlo visoka frekvencija (*engl. Ultra High Frequency*)

WLAN –bežična lokalna mreža (*engl. wirelessLAN*)

WPAN –bežična privatna mreža (*engl. wireless PAN*)

4GDH – četvrta generacija centralnog toplinskog sustava za grijanje (*engl. 4th Generation District Heating*)

1. UVOD

U zadnjih nekoliko desetljeća raste suglasnost među znanstvenicima i političarima o ogromnim rizicima globalnih klimatskih promjena i hitnoj potrebi promicanja čistih energetskih tehnologija. Stoga je potrebno što efikasnije koristiti sve izvore energije, pogotovo one koji nisu obnovljivi te što je prije moguće preći na obnovljive izvore energije.

Stoga se razvija implementacija pametnih plinskih brojila, kao i pametnih brojila električne energije. Uz to što pametna brojila smanjuju troškove vezane uz očitavanje brojila, praćenje mreža i održavanje i upravljanja njima u slučaju nenadanog nestanka usluge, oni uz to i omogućuju druge važne funkcije pametnih mreža, neke od koji su programi za odaziv potražnje energije, sposobnost različitih vremena naplaćivanja itd.

Danas, toplinska mjerila jedino mjere potrošnju toplinske energije i općenito ne dozvoljavaju prijenos izmjerenih podataka na daljinu za daljnju obradu podataka. Nadalje, mjerenja toplinske energije su većinom provedena bez procjene stvarne kvalitete dostavljene toplinske energije. S druge strane, tipične značajke pametnih brojila bi mogle dozvoliti kontinuirani prijenos podataka energije, uz interakciju s problemima opskrbe i upravljanja.

Svakodnevni rast potražnje za grijanjem u različitim sektorima, zajedno s još strožim propisima preventive emisija stakleničkih plinova, prisililo je različite zemlje da traže nove alternative za grijanje zgrada poput centralnog toplinskog sustava grijanja. Iako su postojale izvorne verzije centralnih toplinskih sustava grijanja s manjom efikasnošću tijekom povijesti, tek su u zadnja dva desetljeća efikasno primijenjeni na globalnoj razini kada su oni postali jednim od energetski efikasnijih načina grijanja zgrada.

Temeljna ideja centralnog toplinskog sustava grijanja je u korištenju lokalnih izvora energije i toplinskih resursa koji bi inače bili otpad, u svrhu zadovoljavanja lokalnih potreba za grijanjem. Tradicionalni izvori viškova topline su elektrane za pretvorbu otpada u energiju i industrijski procesi, dok kod kogeneracijskih postrojenja visokovrijedni otpad je električna energija. Tijekom posljednjih desetljeća, obnovljive topline iz geotermalnih izvora, solarnih kolektora i biomase su po prvi put korišteni u centralnim toplinskim sustavima grijanja u svijetu. Stoga, kombinacija otpadne i obnovljive topline je trenutni fokus centralnih toplinskih sustava grijanja. Korištenjem centralnog toplinskog sustava grijanja, daje se novi, alternativni način stvaranja i korištenja energije s kojim se postiže manji utjecaj na okoliš, u odnosu na standardne, širom primijenjene načine grijanja s većim utjecajem na okoliš.

2. PLINSKA BROJILA

Velika Britanija je prva država koja je komercijalizirala upotrebu prirodnog plina. Oko 1785. godine, prirodni plin proizveden iz ugljena se počeo koristiti za rasvjetu domova, ali i ulične rasvjete. Prvo plinsko brojilo bilo je uvedeno 1815. godine, što je moguće zahvaliti Samuelu Cleggu, a to je bio tip mokrog plinskog brojila dok William Richards 1843. godine uvodi membranski tip suhog plinskog brojila. Tu vrstu plinskog brojila Thomas Glover je kasnije unaprijedio i osnovao prvu tvrtku za proizvodnju plinskih brojila.

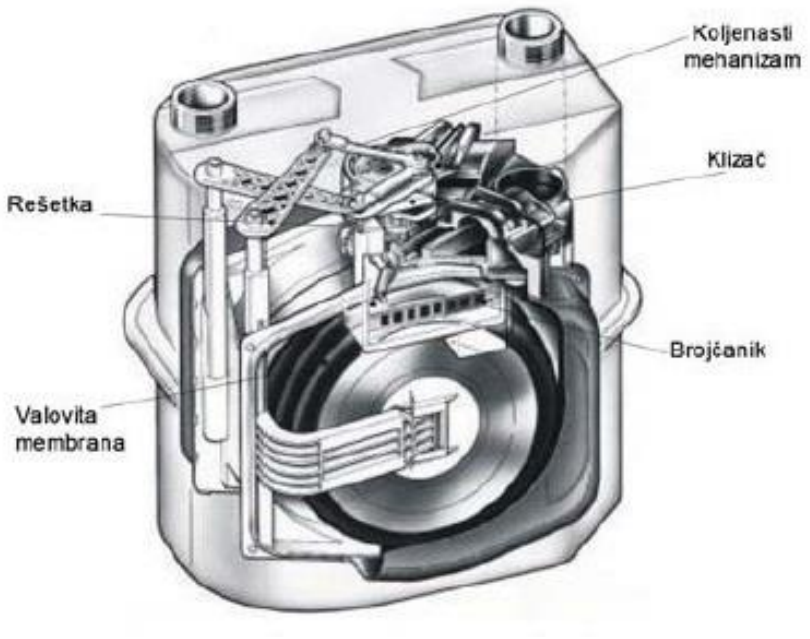
U današnje vrijeme postoji više vrsta plinskih brojila. Najčešće korištena i najviše raširena u svijetu su membranska plinska brojila, dok ih slijede plinska brojila s rotacijskim klipovima, turbinska plinska brojila, ultrazvučna plinska brojila itd.

2.1. PROTUPOVRATNA PLINSKA BROJILA

Ova plinska brojila obuhvaćaju membranska plinska brojila i plinska brojila s rotacijskim klipovima i djeluju na principu volumetrijskog protoka na način da se plinski protok podijeli na pojedine dijelove koji se pune i prazne dok se mjerač rotira. Svaki okret je vezan s točno određenim volumenom i brojilo mjeri količinu plina u kubnim metrima. Ova brojila imaju visoku točnost i brz odaziv. Oni imaju pomične dijelove stoga čistoća plina mora biti uzeta u obzir prije korištenja ovih tipova brojila.

2.1.1. *Membranska plinska brojila*

Ovaj tip plinskog brojila mjeri količinu plina koja prođe kroz njega, a to se omogućava na način da je poznata količina plina istisnuta za svaki pomak membrane. Membrana pruža izolaciju između dvije ili više mjernih komora. Te se komore za vrijeme radnog ciklusa izmjenično pune i prazne s pomoću sustava za upravljanje klizačima kao što je prikazano na slici 2-2. Dok se jedna komora puni i time širi, plin se potiskuje u drugu komoru. Kod membranskih plinskih brojila pogonska sila strujanja fluida jest razlika tlaka plina na membranama, a princip rada potiskivanje je plina iz jedne u drugu komoru. Pogon koljenaste osovine pretvara translatorni pokret membrane i klizača u rotacijsko gibanje. Rotacijsko gibanje koljenaste osovine prenosi se na brojčanik. Presjek ovog tipa plinskog brojila s mjernim mehanizmom prikazan je na slici 2-1.

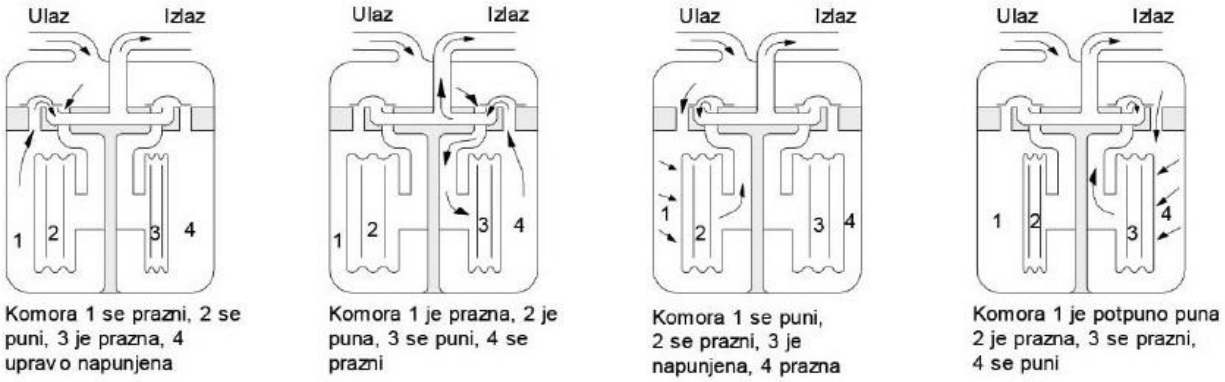


Slika 2-1. Presjek membranskog plinskog brojila Elster BK-G6 (Pavlović et al., 2020.)

Membransko plinsko brojilo se inače sastoji od mnogo dijelova, ali neki glavni dijelovi su kućište, mjerne komore, ventili i spojnice, dio za kalibriranje (podešavanje) i brojčanik. Dio za kalibriranje (podešavanje) se koristi kako bi se ispravio negativan efekt ili mala odstupanja nastala tijekom rada uređaja. Brojčanik služi za konačno mjerenje količine plina koja je prošla kroz plinsko brojilo. Njime se upravlja nekim povezivajućim spojem koji je najčešće zupčanik ili brtva pregrada.

Razvoj proizvodnje ovog tipa plinskog brojila s obzirom na točnost proveden je izmjenom materijala za membrane i uporabom membrana kružnog ili eliptičnog oblika umjesto pravokutnog oblika te konstruiranjem mehanizma koji omogućava gibanje membrana bez graničnika. Nekoć su se membrane izrađivale od impregnirane životinjske kože. Danas se rabe sintetički materijali koji su s obje strane ojačani elastomerom. Primjena umjetnih materijala kružnog ili eliptičnog oblika te primjena ravninskih mehanizama između komora i brojčanika utjecale su na točnost i stabilnost mjerenja.

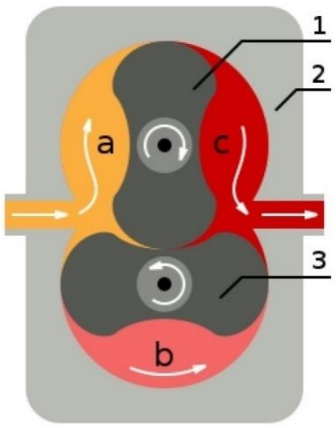
Membranska plinska brojila se najčešće koriste za plinska brojila u stambenim naseljima i za manje komercijalne primjene.



Slika 2-2. Princip rada membranskog plinskog brojila (Pavlović et al., 2020.)

2.1.2. Plinska brojila s rotacijskim klipovima

Drugi tip protupovratnih plinskih brojila velike preciznosti koji je najčešće korišten pri velikim protocima i visokim tlakovima. Ova tip mjerača plina radi na principu mjerenja obujma plina zahvaćanjem određene količine plina rotirajućim klipovima. Klipovi su u obliku broja osam i svojim okretanjem preko zupčanika bilježe protok te se valjaju u zajedničkom kućištu jedan nasuprot drugome ne dodirujući se. Smjer protoka plina može biti horizontalan ili vertikalan. Protekla količina plina mjeri se preko brojčanika u koji može biti ugrađen davač impulsa.



Slika 2-3. Princip rada plinskog brojila s rotacijskim klipovima (Wikimedia, 2010.)



Slika 2-4. Plinsko brojilo s rotacijskim klipovima (Flow Meter Group, 2018.)

2.2. INDIREKTNA PLINSKA BROJILA

Poznata su dva tipa ovakvih plinskih brojila: turbinska plinska brojila i plinska brojila s preprekom u protoku. Oni ne mjere direktno količinu plina već dolaze do količine protočnog plina mjerenjem drugih karakteristika tog plina.

2.2.1. Turbinska plinska brojila

Ovo je tip plinskog brojila koji funkcionira na način da mjeri brzinu pri kojoj plin prolazi kroz turbinu ili spiralnu uvojnicu. Sastoji se od nekoliko glavnih dijelova: stlačenog kućišta s prirubnicama u kojem se nalazi rotor i mehanizmi zupčanika te brojčanik koji mjeri okrete rotora tijekom rada. Neki dodatni dijelovi su: uređaji za kontrolu protoka, mehanizmi za podmazivanje nosivih dijelova te sofisticirani mehanički i električni sustavi za mjerenje.



Slika 2-5. Komponente turbinskog plinskog brojila (Petrowiki, 2020b.)

Proces rada ovih brojila je baziran na mjerenju brzine plina. Ova brojila mjere protok plina tako da računaju broj okretaja rotora kada je podvrgnut protoku plina kroz poznatu površinu presjeka. Brzina ili rotacija rotora je izravno proporcionalna brzini protoka plina. Protočni plin je ubrzan i prilagođen prolaskom kroz dugu ravnu sekciju. Ova sekcija služi za pripremanje protoka plina na način da se uklanjaju neželjeni vrtlozi i asimetrija prije nego što sam plin dođe do rotora. Dinamičke sile protočnog plina uzrokuju da se rotor rotira. Rotor je montiran na glavnu osovinu koja ima kružne nosače s niskim trenjem koji omogućuju veliku preciznost. Rotor ima spiralne oštrice koje imaju znani kut koji je razmjeran protoku plina. Koristeći mehanizam zupčanika, rotor pogoni mehanički brojčanik. Također, rotirajuće oštrice uz pomoć senzora pomaka stvara impulse. Svaki uočen impuls je jednak konkretnom volumenu plina pri stvarnim uvjetima. Za svako plinsko brojilo, potreban je kalibracijski faktor K. Ovaj čimbenik se iskazuje u pulsevima po volumenu i za svako plinsko brojilo je naveden u proizvodnim karakteristikama brojila (Cameron Measurement Systems, 2020.)



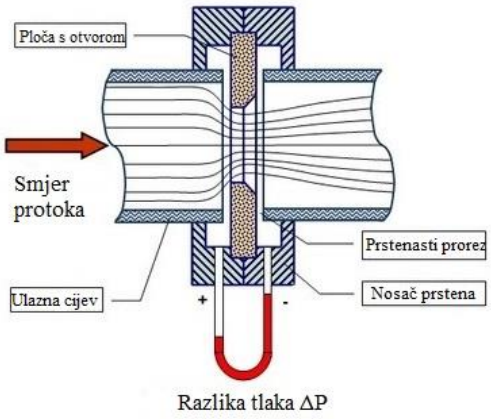
Slika 2-6. Turbinska plinska brojila (Honeywell, 2020.)

Tablica 2-1. Prednosti i nedostatci turbinskih plinskih brojila (Petrowiki, 2020b.)

Prednosti	**Nedostatci**
Visoka točnost raspona u kojem (diferencijalni) tlak i protok imaju linijsku ovisnost	Zahtijeva početnu kalibraciju protoka u laboratoriju
Industrijska primjena	Relativno visoki gubitci tlaka
Srednje visok kapitalni trošak	Pomični dijelovi zahtijevaju održavanje
Srednji doseg pri visokom tlaku	Ne smije biti nečistoća
Velika mogućnost ponavljanja	Mogućnost štete zbog prevelikih brzina
Digitalni podaci	

2.2.2. Plinska brojila s preprekom u protoku

Ova brojila su često korištena pri mjerenju prirodnog plina. Ovaj tip plinskog brojila primarno služi za mjerenje volumetrijskog protoka, iako također može mjeriti maseni protok. Korišteni princip koji ovaj mjerač koristi je Bernoulli, odnosno Venturi princip, što sugerira da postoji odnos između brzine i tlaka fluida. Taj odnos je prikazan na način da što više brzina raste, to tlak pada. Ovim tipom brojila, protok je utvrđen kroz razliku u tlaku između uzvodne i nizvodne strane djelomično začepljene cijevi ili mjerenjem pada tlaka zbog prepreke ubačene u protočni tok.



Slika 2-7. Osnovni koncept plinskog brojila s preprekom u protoku (Steinberg, 2014.)

Tablica 2-2. Prednosti i nedostatci plinska brojila s preprekom u protoku (Petrowiki, 2020c.)

Prednosti	**Nedostatci**
Dugo vrijeme korištenja	Niska preciznost pri malim protocima
Široka industrijska primjena	Spor odaziv, mali doseg i veliki gubitci tlaka što može utjecati na operativne troškove
Jednostavni i jeftini	Nemaju mogućnost samočišćenja
Nema pomičnih dijelova	Mogu biti oštećeni ili začepljeni uslijed velikih brzina protoka
Mehanički stabilni	Zahtijevaju statički tlak plina, diferencijalni tlak, viskoznost, gustoću i temperaturu plina da bi točno izmjerili protok plina
Nema ograničenja zbog temperature, tlaka ili veličine	

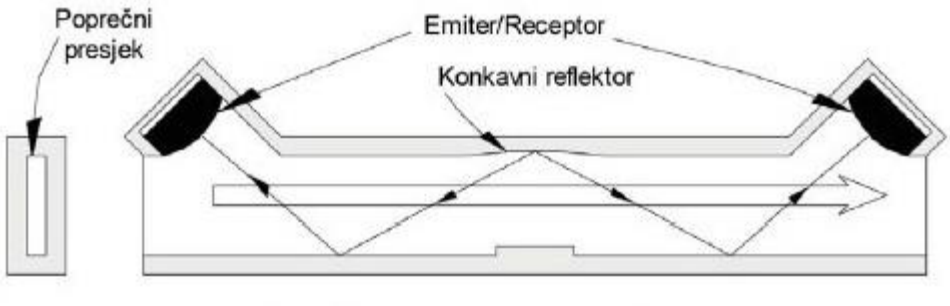
2.3. OSTALI TIPOVI PLINSKIH BROJILA

2.3.1. Ultrazvučna plinska brojila

Ultrazvučna tehnologija mjerenja rabi se za mjerenje protoka kapljevina i plinova. Za nastajanje, širenje, refleksiju i prigušivanje ultrazvučnih valova u plinovima vrijede fizikalni zakoni akustike. Ultrazvučni valovi šire se kroz plin brzinom zvuka koja iznosi između 300 i 450 m/s ovisno o vrsti fluida. Tijekom 1990-ih godina započela je primjena ultrazvučnih mjerila protoka za mjerenje malenih količina plina i pri niskom tlaku, te im je upotreba rasla za 50% svake nadolazeće godine (Lansing, 2003.). Osnovna namjera bila je proizvodnja plinomjera ovih karakteristika:

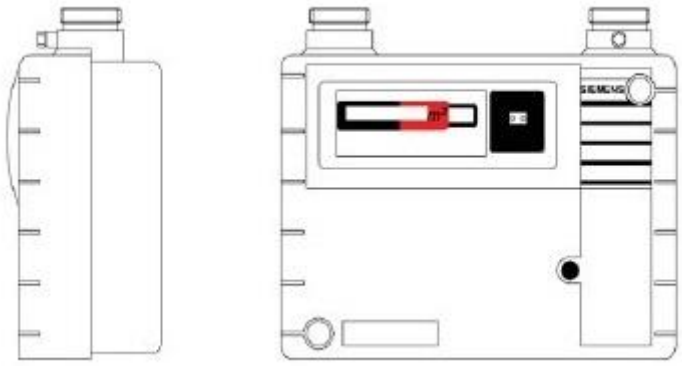
• povećana mjerna točnost (uže granice odstupanja),
• dugotrajnost uporabe,
• uređaj bez pokretnih dijelova (nema buke),
• mogućnost priključenja na mjesta postojećih membranskih plinskih brojila (spojevi, regulatori tlaka i armature),
• mogućnost vanjske komunikacije (priključci za daljinsko očitavanje),
• serijska uporaba temperaturne kompenzacije,
• baterijski pogon (radni vijek baterije od 8 i više godina),
• održavanje i zamjena svakih 10 godina.

Ultrazvučna mjerila protoka mjerila su brzine. Mjerenje se provodi indirektno, mjerenjem vremena potrebnog da signal prevali put od odašiljača (emiter) do osjetnika (receptor). Shematski prikaz ultrazvučnog mjerila protoka dan je na slici 2-8.



Slika 2-8. Shema ultrazvučnog mjerila protoka (Pavlović et al., 2020.)

Osnovni dio ovog tipa plinomjera jest mjerna sekcija. Fluid protječe kućištem mjerila brzinom v i prolazi mjernom sekcijom kroz koju se prenosi ultrazvučni signal. U mjernoj sekciji ugrađeni su odašiljač i osjetnik signala koji izmjenično mijenjaju uloge. Odašiljač i osjetnik signala postavljeni su na određenoj udaljenosti cijevi s iste strane. Ultrazvučni valovi odaslani od odašiljača prolaze pod kutom kroz struju plina i odbijaju se od reflektirajućih površina na gornjoj i donjoj stijenci mjerne sekcije u obliku slova W (slika 2-8).



Slika 2-9. Ultrazvučno kućansko plinsko brojilo (Pavlović et al., 2020.)

Tablica 2-3. Prednosti i nedostatci ultrazvučnih plinska brojila (Petrowiki, 2020d.)

Prednosti	**Nedostatci**
Visoka preciznost u dužem periodu i pri velikim količinama plina	Mala industrijska primjena
Nemaju pomičnih dijelova	Osjetljivost na tlak i buku redukcijskog ventila
Mogućnost mjerenja temperature plina	
Manja veličina od ostalih klasičnih plinskih brojila	
Tišina pri radu zbog nepomičnih dijelova	
Niski troškovi održavanja i radnika	

2.3.2. Coriolis plinska brojila

Izumom tehnologije za mjerenje mase pline, koristeći fizičko načelo zvano Coriolisov efekt, nastao je ovaj tip plinskih brojila koji mjeri masu plina koji prolazi kroz cijev oblika slova „U“. Cijev vibrira u smjeru okomitom na protok plina što stvara Coriolisov efekt, koji u kontaktu s vibracijom uzrokuje uvijanje cijevi. Što je veći kut uvijanja cijevi, to je veći protok plina. Osjetne zavojnice koje se nalaze na ulazu i izlazu proporcionalno osciliraju u odnosu na vibracije cijevi. Vibrirajuće cijevi i masa plina koji protječe, zbog Coriolisovog efekta, tijekom protoka plina uzrokuju pomak faze između dviju osjetnih zavojnica. Fazni pomak koji odašiljač izmjeri je direktno proporcionalan brzini masenog protoka.



Slika 2-10. Coriolis plinsko brojilo (Petrowiki, 2020a.)

Tablica 2-4. Prednosti i nedostatci Coriolis plinskih brojila (Petrowiki, 2020a.)

Prednosti	**Nedostatci**
Mjerenje mase protoka	Mogućnost erozije zbog abrazivnih čestica
Neosjetljivost na različite profile protoka	Veliki gubitci tlaka mogu povećati omjere odstupanja mjerenja
Visoka preciznost	Osjetljivost na vibracije blizu operativne frekvencije
	Samo dostupni u malim veličinama
	Visoka cijena kupnje i ugradnje

2.4. PLINSKA BROJILA PREMA TIPU PRIKAZA PODATAKA

2.4.1. Plinska brojila s analognim (mehaničkim) prikazom

Ova brojila pokazuju očitanja na nizu rotirajućih brojeva, tipično pet brojeva, zatim šesti broj, obično crvene boje nakon decimalne točke kojeg se može zanemariti. Kao i u starijih generacija plinskih brojila, ovi brojevi mogu biti neshvatljivi ljudima i nisu konkretan prikaz potrošnje energije.



Slika 2-11. Analogni prikaz (Energy Company, 2016.)

2.4.2. Plinska brojila s digitalnim prikazom

Kao i kod brojila s analognim prikazom uzimamo u obzir prvih pet brojeva, a šesti možemo zanemariti. Razlika je u tome što su podaci prikazi na LCD zaslonu, a može ili ne mora biti potrebno pritisnuti tipku da bi LCD zaslon prikazao podatke.



Slika 2-12. Digitalni prikaz (Wuhan Radarking Electronics Corp., 2020.)

2.4.3. Plinska brojila s brojčanicima

Plinska brojila s ovakvim tipom prikaza podataka je malo teže očitati, zbog izgleda šest malih satova. Da bi se mogli popisati podatci, moraju se očitati slijeva na desno. Postupak zna biti zamoran te je najjednostavnije i veoma praktično uslikati zaslon te ga poslati distributeru na očitanje.



Slika 2-13. Prikaz s brojčanicima (Wikimedia, 2020.)

3. PAMETNA PLINSKA BROJILA

Pametna brojila su nazivana „pametnima“ već od uvođenja statičkih brojila koja su uključivala jedan ili više mikroprocesora. Već prije 30 godina za veće klijente postojala su brojila koja su po definiciji spadala u pametna brojila.

Pametno brojilo uglavnom podrazumijeva tip unaprijeđenog brojila koje identificira potrošnju detaljnije nego konvencionalno brojilo i po mogućnosti komunicira te informacije preko neke komunikacije mreže natrag do lokalnog komunalnog poduzeća za usluge naplaćivanja i praćenja podataka.

Brojilo se smatra pametnim ako zadovoljava barem neke od sljedećih funkcija (Kester, et al., 2009.):

- praćenje ispravnosti ugrađenog brojila i rada po propisu, te nadzor neovlaštene uporabe;
- komunikacija podataka s brojilom koristeći sigurne protokole otvorenog standarda;
- ažuriranje softvera brojila s udaljene lokacije putem komunikacije mreže;
- višenamjenska brojila (električna energija, plin, toplina i voda);
- automatsko očitavanje izmjerene potrošnje u svrhu naplaćivanja usluge i u svrhu analize konačne potrošnje;
- omogućavanje praćenje podataka potrošnje u stvarnom vremenu raznim učesnicima (distributer, opskrbljivač i krajnji korisnik);
- lako razumljiv i uočljiv zaslon koji uključuje pokazatelj niske/srednje/visoke potrošnje, usporedbu povijesnih/prosječnih režima potrošnje, mogućnost pristupa podacima preko osobnih računala i pametnih telefona;
- dvosmjerna komunikacija između energetskog opskrbljivača i brojila da bi se omogućilo dinamično tarifiranje;
- interna memorija za skladištenje informacija o potrošnji i režimima potrošnje;
- tarifa koja krajnjim korisnicima naplaćuje više tijekom vremena vršne potrošnje (npr. tijekom dana) te koja krajnjim korisnicima naplaćuje manje tijekom vremena umanjene potrošnje (npr. tijekom noći);
- praćenje neaktivnosti te, u slučaju plinskih brojila, praćenje u stvarnom vremenu nekontroliranog istjecanja plina i emisija ugljičnog monoksida;
- omogućavanje opskrbljivača promoviranje svojim klijentima svijest o korištenju energije i poticanje na uštedu energije.

3.1. NAPREDNA MJERNA INFRASTRUKTURA

Iako će se u ovom poglavlju većinom analizirati pametna brojila, ona su samo po sebi dio puno većih cjelina. Pametno brojilo je samo jedna mala komponenta jednog velikog sustava, pametne mreže (*engl. smart grid - SG*), te značajni element napredne infrastrukture očitanja (*engl. Advanced metering infrastructure - AMI*) (Van Aubel et al., 2019).

Da bi se pametna mreža u potpunosti aktualizirala mora biti postavljen sustav za prikupljane podataka, a taj sustav je AMI. Jedna od glavnih, ali najprimamljivijih funkcija AMI-a je dvosmjerna komunikacija između potrošača i opskrbljivača, jer ima mnoge prednosti za sve korisnike sustava. Iz perspektive potrošača, dvosmjerna komunikacija će omogućiti krajnjim korisnicima da prate svoju potrošnju i posljedično smanje svoju potrošnju ako je potrebno i budu ekonomičniji. Iz perspektive distributera, dvosmjerna komunikacijska mreža će im omogućiti praćenje neaktivnosti te, u slučaju plinskih brojila, praćenje u stvarnom vremenu curenja plina i emisija ugljičnog monoksida. Iz perspektive energetskog opskrbljivača, pametno brojilo se koristi za utvrđivanje ukupne potrošnje energije i samim time koriste ga u svrhu naplaćivanje usluge. AMI može biti podijeljen na tri komponente, svaka od kojih ovisi o drugoj. Jedna od komponenti je pametno brojilo koje djeluje kao krajnja točka AMI-a. Sljedeća komponenta AMI-a je komunikacijska mreža koja je neophodna da bi se ostvarila razmjena podataka unutar pametne mreže. Zadnja komponenta je sustav za upravljanje podacima (DMS), koji je odgovoran za analizu podataka prikupljenih od brojila.

Kao što je već navedeno na početku poglavlja 3, termin „pametna brojila“ se odnosi na uređaje krajnjih korisnika koji se koriste za mjerenje potrošnje korisnika kao i za dostavljanje preciznih profila potrošnje kućanskih aparata u stvarnom vremenu, samom potrošaču preko pametnog zaslona, unutar kućanstva te samom distributeru preko komunikacijske mreže. Iz toga se može zaključiti da pametno brojilo ima dvije glavne funkcije, a to su mjerenje i komunikacija. Ipak, bez obzira na dizajn, količinu koja se mjeri ili tip brojila, pametno brojilo bi trebalo imati sljedeće neophodne funkcije (Koponen et al., 2008.).

Kvantitativno mjerenje je vjerojatno najbitnija uloga, iz razloga što je glavna i osnovna funkcija brojila ispravno mjerenje potrošnje. Pošto su izmjerene količine pametnih brojila od velike važnosti za potrošače, distributere i dobavljače nužna je visoka preciznost izmjerenih podataka.

Sustav napajanja energijom ne može biti bez grešaka, nestabilnosti i poremećaja. Ti faktori ipak ne bi smjeli utjecati na brojilo na nikakav način i smanjiti mu efikasnost mjerenja. Zbog toga je važna kontrola i podešavanje pametnog brojila kako bi oni bili u mogućnosti kompenzirati manja odstupanja i smetnje u sustavu pri svome radu.

Da bi se omogućila efikasna kontrola u sustavu i praćenje podataka mora biti postavljen dobar komunikacijski program koji je dio pametnog brojila, jer bi bez njega pametno brojilo bilo izolirano od mreže i to bi onda poništilo kompletnu svrhu pametnog brojila. Pametno brojilo bi trebalo imati rezervni izvor energije koji će omogućiti njezinu funkcionalnost i u slučaju nestanka primarnog izvora energije. Ovo je ključno pogotovo u državama u razvoju gdje su nestanci energije česta pojava.

Trebao bi biti pristupačan zaslon koji će služiti kao zaslon kroz koji će korisnik moći pristupiti podacima o potrošnji energije i informacijama o računima. Zaslon bi trebao biti nešto slično LCD ekranu. Stoga, glavne funkcije pametnog brojila su: naplaćivanje u stvarnom vremenu, pribavljanje podataka o potrošnji korisnicima, obavijest u slučaju kvara ili nestanka energije, daljinsko paljenje ili gašenje pametnog brojila, otkrivanje krađe energije itd.

3.1.1. Komunikacijska mreža

Bez komunikacijske mreže, podaci se ne bi mogli prenositi od terminala do pametnog brojila i sustava za upravljanje podacima (DMS). Komunikacijska mreža bi morala biti pouzdana i sigurna, ali da bi ta mreža bila efikasna mora biti podijeljena na nekoliko različitih manjih mreža koje su mreža kućanstva (*engl. home area network - HAN*) i dostavna mreža (*engl. backhaul network*). Zadnjih godina ne postoji neka konkretna mreža koja bi se mogla smatrati idealnom mrežom za podnošenje tereta komunikacijske strukturne mreže AMI-a. Ali ipak postoji mnoštvo mrežnih tehnologija koje bi se mogle implementirati, svaka sa svojim prednostima i nedostatcima.

Kasnije u radu će biti navedene tehnologije koje omogućuju daljinsko očitavanje plinskih brojila pri čijem radu postoje stroga ograničenja jer se ne mogu koristiti sve tehnologije u svim uvjetima. Pri upotrebi tih tehnologija očito je da neke troše previše energije (potrošnja baterije), neke imaju prekratak domet uređaja koji vrši prijenos podataka, dok nekim tehnologijama se pojavljuju razne smetnje prilikom prijenosa signala (pouzdanost prijenosa, slaba pokrivenost mrežom), te se stoga treba koncentrirati na tehnologije koje su dizajnirane

upravo za plinska brojila jer su samostalna. Moraju imati vlastiti izvor energije (baterija), nultu tolerancija na iskre te module koji prenose signal. Najčešće korištene mrežne tehnologije su bežične mreže dok još postoje i fiksne žične mreže ili kombinacija prethodne dvije. U ovom radu naglasak je na bežičnim tehnologijama. Alternativno rješenje komunikacije pametnih brojila je komunikacija preko strujnih kablova, ali je ova tehnologija limitirana brzinom slanja signala.

Primarni kriteriji i osnovne smjernice na koje treba obratiti pozornost pri odabiru bežične tehnologije su (Ibhaze et al., 2020.):

- pouzdanost i kvaliteta prijenosa podataka (100%),
- količina podataka koje treba prenijeti,
- broj dnevnih prijenosa podataka kao i cijena pojedinačnog prijenosa,
- interval prijenosa podataka (podaci o potrošnji po satu),
- prednosti i nedostatci sustava kako bi se što bolje prilagodio poduzeću koje će koristi taj sustav,
- software za očitanje i dostavu podataka,
- montaža i eksploatacija opreme,
- životni vijek (u slučaju plinskih brojila barem 8 godina).

Ovisno o tehnologiji prijenosa podataka, opremu koja će se koristiti za očitavanje i prijenos podataka može se podijeliti na grupe (Lipošćak et al., 2013.):

- nisko energetska širokopojasna bežična tehnologija (LoRa, SIGFOX),
- radiofrekvencijska (RF) tehnologija,
- uskopojasna (*engl. narrowband - NB*) Internet of Things (IoT) tehnologija,
- 2G/2.5G/GSM/GPRS tehnologija.

Mjerna oprema uređaja s radiofrekvencijskom (RF) tehnologijom se sastoji od tri dijela: plinskih brojila s RF prijenosom podataka, modula koji uzimaju očitane podatke s plinskih brojila te ih prenose RF-om i koncentratora koji prikupljaju očitane podatke s velikog broja plinskih brojila ili modula te ih šalju na server gdje ih tvrtka pregledava.



Slika 3-1. Modul APULSE X373, bežični prikupljač podatka s radiofrekvencijskom (RF) tehnologijom (Elektrometal S.A., 2018.)

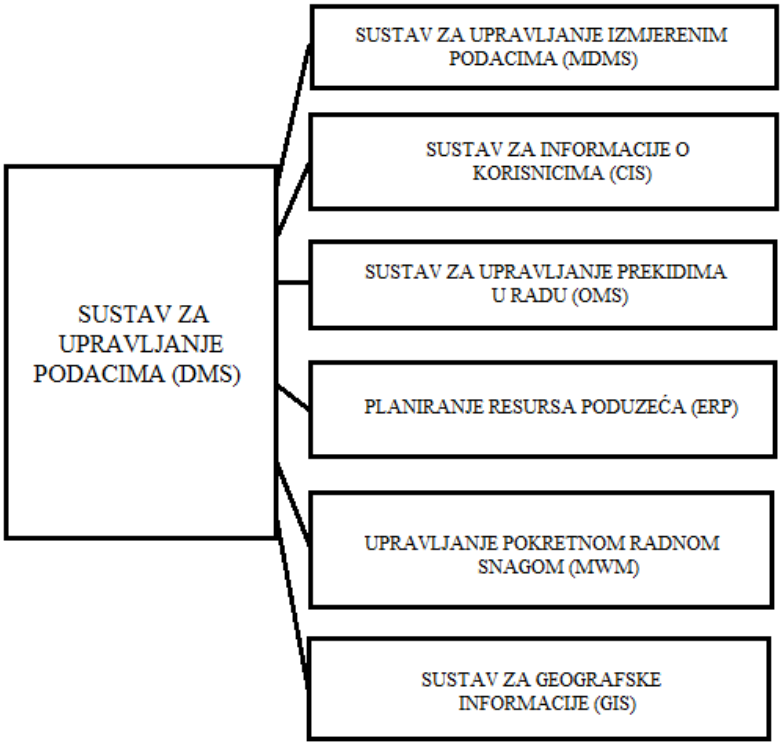
Mjerna oprema uređaja s GSM/GPRS tehnologijom prijenosa podataka se sastoji od tri dijela: plinskih brojila s ugrađenim GPS modulom, elektronskih kolektora s ugrađenim GSM/GPRS modulom i modula koji prenose očitane podatke s plinskih brojila GSM/GPRS modulom.



Slika 3-2. XLOG GSM/GPRS prikupljač podataka s baterijskim pogonom (MICRO EL, 2012.)

3.1.2. Sustav za upravljanje podacima (DMS)

Pri kraju AMI-a što se tiče pružatelja usluga, nalazi se sustav koji se bavi skladištenjem i analizom mjernih podataka (DMS, *engl. Data management structure*).



Slika 3-3. Različiti moduli sustava za upravljanje podacima (DMS) (Ibhaze et al., 2020.)

Kao što se vidi na slici 3-3, ovaj sustav uključuje mnogo više funkcija nego samo primanje i skladištenje korisničkih podataka. Podsustav MDMS (*engl. Meter Data Management System*) može biti smatran glavnim modulom jer unutar sebe ima uklopljene analitičke alate za komuniciranje s ostalim modulima kao i sposobnost da provjeri valjanost, procjenu i uređivanje podataka. Postoje tri osnovne funkcije koje MDMS mora ispuniti:

- optimizacija rada komunalnih mreža,
- optimizacija upravljanja komunalijama,
- komunikacija s klijentima.

Analiza podataka je veoma važna za SG jer cilja na prikupljanje podataka i razvijanje uzoraka u prikupljenim podacima i kroz korištenje analitičkih alata i tehnika za prikupljanje podataka izvlači korisne informacije koje mogu biti korištene za optimizaciju SG-a kao i za njegov daljnji razvoj.

Neki od problema s kojima se susreće MDMS je problem skladištenja podataka. Prostor koji MDSM koristi za skladištenje trebao bi biti otporan na katastrofalne pogreške kako ne bi došlo do masivnog gubitka podataka. Zbog toga, donesen je prijedlog da se uvede „cloud computing“, tj. stvaranje rezervnog prostora za skladištenje podataka na cloud servere. Ali,

kao i svaki prijedlog, glavni nedostatak ovog pristupa je nemogućnost osiguranja korisničkih podataka.

3.2. BEŽIČNE TEHNOLOGIJE UNUTAR KOMUNIKACIJSKE MREŽE

Pošto ova infrastruktura pametnih brojila zahtijeva pouzdani sustav komunikacije, svaki propust ili kvar u ovom procesu komunikacije koji se oslanja na sustav mobilne bežične komunikacije može rezultirati u nedostupnosti usluge zbog prenatrpanosti bežične mreže, problema zbog smetnji ili kalibracijskih problema.

3.2.1. Wavenis

Kreiran od tvrtke Coronis Systems 2001. godine. Predstavlja dvosmjerni bežični sustav dizajniran za rad na UHF (*engl. Ultra high frequency*) ISM (*engl. Industrial, scientific, medical*) pojasu. Njegove glavne značajke su niska brzina prijenosa podataka (4,8 kbps-100 kbps), niska razina potrošnja energije (radio primopredajnici) što posljedično vodi do dužeg rada uređaja na baterije te velikog radio dosega unutar cijelog prostora (*engl. in-house signal penetration*). Njegove trenutne primjene uključuju automatizaciju u kućanstvima i industriji, centralizirano upravljanje zgradama, telemetriju, AMI i AMR pametno mjerenje, alarme za zaštitu ljudi i imovine (Lipošćak et al., 2013.).

3.2.2. Plextek

Baziran na UNB (*engl. Ultra Narrow Band*) tehnologiji s dodatnim „frequency hopping“ i vlastitim tehnikama obrade signala kako bi se poboljšala osjetljivost prijemnika u prisustvu smetnji tipičnim za nelicencirane pojase. Sustav radi na 868 MHz ili 915 MHz ISM (*engl. Industrial, scientific and medical*) frekvencijskom pojasu. Njegove glavne značajke su niski troškovi terenske opreme, kratki domet (100 m), „point to multipoint“ arhitektura i radijus 2-20 km ovisno o visini antene i okolišu. Čvor (bazna stanica) može sadržavati velik broj uređaja (5000-10000) te njihov broj ovisi o količini podataka. Kompletan sustav uključuje radio protokol, bilježenje podataka, širok raspon standardnih sučelja i protokola za komunikaciju s čvorom te je moguće izravno povezivanje čvora s Internetom (Lipošćak et al., 2013.).

3.2.3. EverBlu

Radijski bazirana mreža za automatsko očitavanje brojila koja je potekla od radijskog protokola koji je definiran od Europske udruge za korisnike. Njezine glavne značajke uključuju niska razina potrebne energije, dvofrekvencijski rad (433/868 MHz, slobodna javna frekvencija), „point to multipoint“ arhitektura. Također koristi mobilne mreže, npr. GPRS za dostavu podataka.

3.2.4. Bluetooth

Otvorena bežična mreža koja šalje podatke između fiksnih i mobilnih uređaja preko kraćih udaljenosti. Taj proces je moguć jer stvara PAN (*engl. personal area network*) koji omogućava više istovremenih priključaka. U početku je bila korištena kao alternativa RS232 kablovima za prijenos podataka.

3.2.5. WPAN

Tehnički standard koji definira rad bežičnih osobnih mreža niske brzine (LR-WPAN). Određuje fizički sloj i kontrolu pristupa mediju za LR-WPAN, održava ga radna skupina IEEE 802.15 koja je 2003. definirala standard. Osnova je za ZigBee protokol. Uređaji su koncipirani za interakciju jedni s drugima preko konceptualno jednostavne bežične mreže. Radi na jednom od tri moguća nelicencirana frekvencijska područja: 868-868,8 MHz (Europa, omogućava jedan komunikacijski kanal), 902-928 MHz (Sjeverna Amerika, do 30 kanala), 2400-2483,5 MHz (korištenje širom svijeta, do šesnaest kanala).

3.2.6. 6LoWPAN

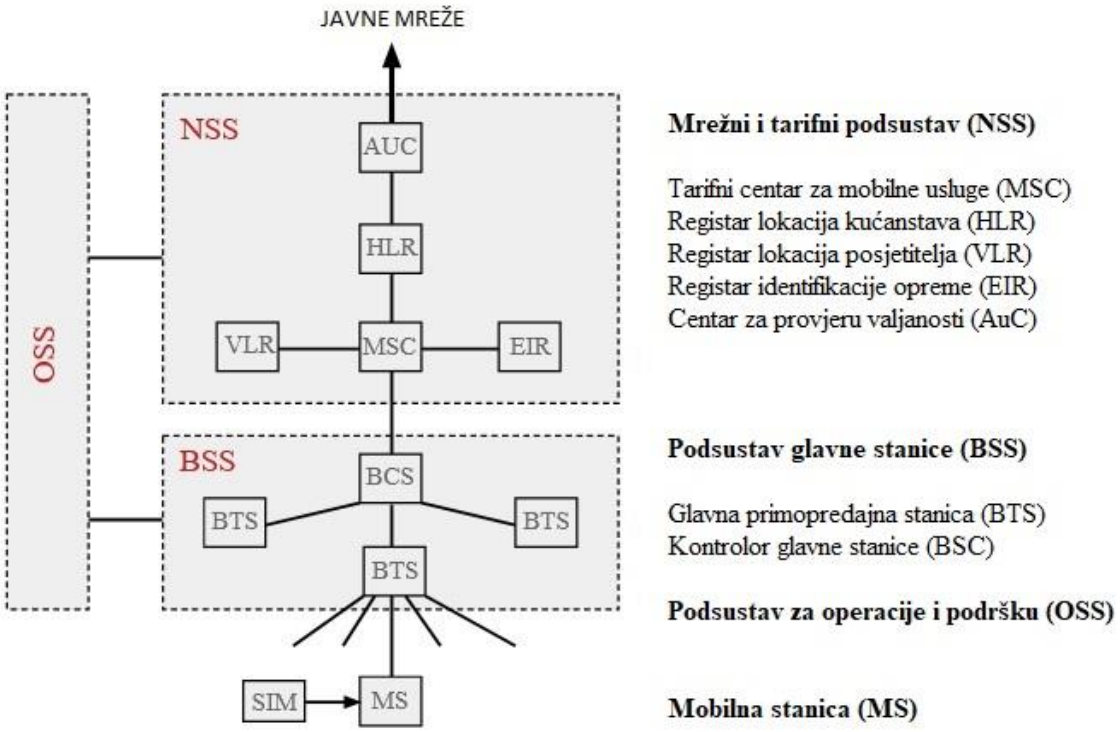
6LoWPANje akronim za IPv6 niskoenergetsku bežičnu privatnu mrežu (WPAN). 6LoWPAN je standard koji koristi Radna jedinica za internetsko inženjerstvo te je neizostavna komunikacijska struktura za izvršenje „Internet of things (IoT)“ inicijative. To je zbog njezine mogućnosti da dodijeli IP adresu i najmanjim uređajima, a to postiže slanjem i primanjem IPv6 paketa preko mreža baziranim na IEEE 802.15 standardu. Njezine glavne značajke također uključuju malu potrošnju energije kao i niska razina valova što ih čini idealnim za HAN.

3.2.7. Zigbee

Niskoenergetski bežični komunikacijski protokol temeljen na IEEE 802.15.4 normi, stvoren 2008. g. od strane Zigbee saveza. Primjenjuje se u osobnim mrežama s malom potrošnjom energije i malom propusnošću. ZigBee se koristi kada je potrebno umrežiti velik broj uređaja, prijenos male količine podataka (ima definiranu brzinu od 250kbit/s što je najprikladnije za povremene prijenose podataka od senzora ili ulaznog uređaja), malu potrošnju energije i visoku sigurnost prijenosa (ZigBee mreže su osigurane 128-bitnim simetričnim šifriranim ključem). Niska potrošnja energije ograničava prijenos podataka na udaljenosti veće od 10 do 100 metara, ovisno o izlaznoj snazi i karakteristikama okoliša. Uređaji koji koriste ZigBee mogu slati podatke na veće udaljenosti puštajući podatke u „mesh“ mrežu ili koristeći posredne uređaje. Definira samo one slojeve koji su važni za ostvarivanje funkcionalnosti na željenom području. Zigbee je idealan pri primjeni nekih brojila zbog svoje preopširnosti te mogućnosti rekonfiguracije i samopopravka, ali je limitiran zbog svoje osjetljivosti na vanjske utjecaje i male količine memorije što može dovesti do značajnih procesnih kašnjenja.

3.2.8. 2G/2.5G GSM/GPRS

Na teritoriju Republike Hrvatske pokrivenost GSM (*engl. Global System for Mobile Communications*) mrežom je 100%, dok je na području Europe pokrivenost javnih mobilnih mreža vrlo blizu 100% u urbanim područjima. Velika prednost ovog sustava je u tome što je infrastruktura za prijenos podataka ovim putem već izgrađena. U današnje vrijeme mobilne usluge su dostupne gotovo svagdje što čini mobilnu infrastrukturu izuzetno vrijednom za sve vrste aplikacija uključujući i napredno mjerno očitavanje (*AMR - engl. Advanced Meter Reading*). Brzina prijenosa podataka koja se šalje s brojila ili modula je maksimalno 500kB/s, što zahtijeva značajnu količinu energije, odnosno uzrokuje kraći vijek trajanja baterije ili traži puno veći kapacitet baterije gledano u pogledu pametnih brojila. GSM je mobilna mreža koja radi na četiri različite frekvencije: 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz i 1900 MHz. Većina GSM operatera radi na 900/1800 MHz, što je slučaj i u RH. GPRS (*engl. General Packet Radio Service*) je unaprijeđena GSM mreža koja omogućava prijenos podataka kroz mobilnu mrežu (usluga na 2G i 3G mreži). Vrijeme pristupa aplikacijama i sadržajima na internetu je kraće nego u GSM mreži, što je važno zbog vijeka baterije na modulima za prijenos podataka. Omogućava sljedeće usluge: SMS poruke, „Always on“ pristup internetu, MMS, internetske aplikacije za pametne uređaje putem bežičnog aplikacijskog protokola (WAP), „point to point“ (P2P), „point to multipoint“ (P2M) (Lipošćak et al., 2013.).



Slika 3-4. Struktura GSM mreže (Electronics Notes, 2020.)

3.2.9. WLAN/WiFi

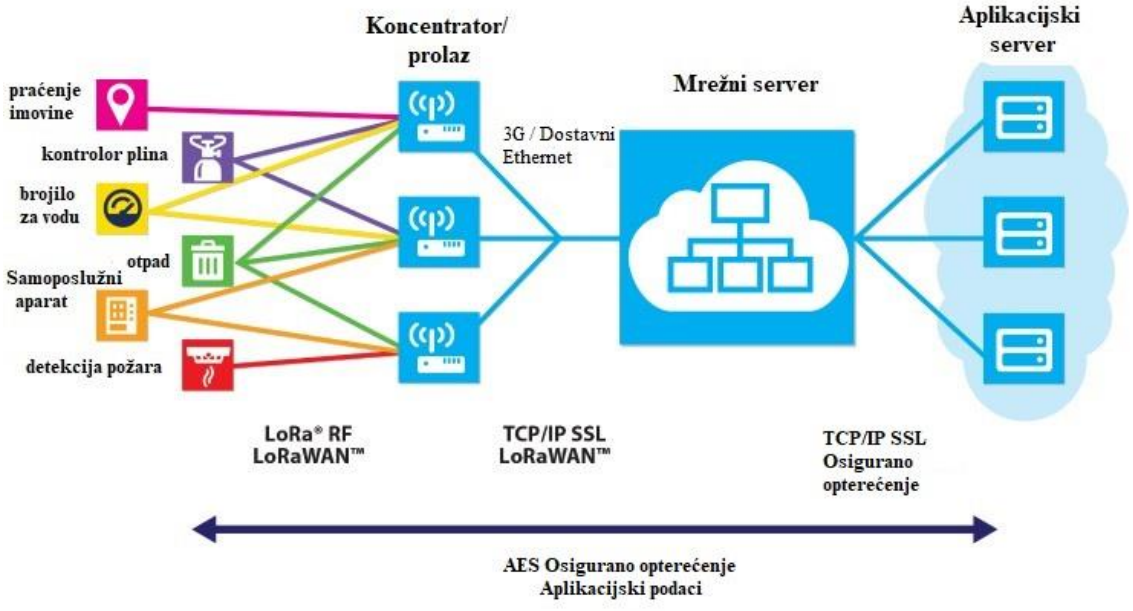
Širokopojasna bežična tehnologija je dizajnirana za djelovanje pri ISM (*engl. Industrial, scientific and medical*) frekvencijama ili od 2,4 GHz ili od 5 GHz te su one u posljednjih 10 godina prihvaćene širom svijeta za bežično lokalno umrežavanje (WLAN). To je posebno važno za pametnu mrežu pri kreiranju HAN koja povezuje međusobno uređaje korisnika kao i s pametnom mrežom. WLAN podržava usluge slične onima koje nude žični LAN (Ethernet) i može se koristiti za izgradnju stacionarnih i mobilnih računalnih mreža.

3.2.10. WiMAX

WiMAX (*engl. worldwide inter-operability for multiple access*)predstavlja mrežnu bazu podataka koja poštuje IEEE 802.16 standarde te podržava „point to point“ (P2P), „point to multipoint“ (P2M) infrastrukturu. Dizajnirana je kako bi prilagodila brzinu slanja podataka do 72 Mbit/s u oba pravca te njezine glavne značajke su višeprocesni OFDM sustav (sustav funkcionira na način da dijeli radio signal u više manjih signala koji se u isto vrijeme šalju na različitim frekvencijama do primatelja) te visoka razina valova (1,25-20 MHz).

3.2.11. LoRa

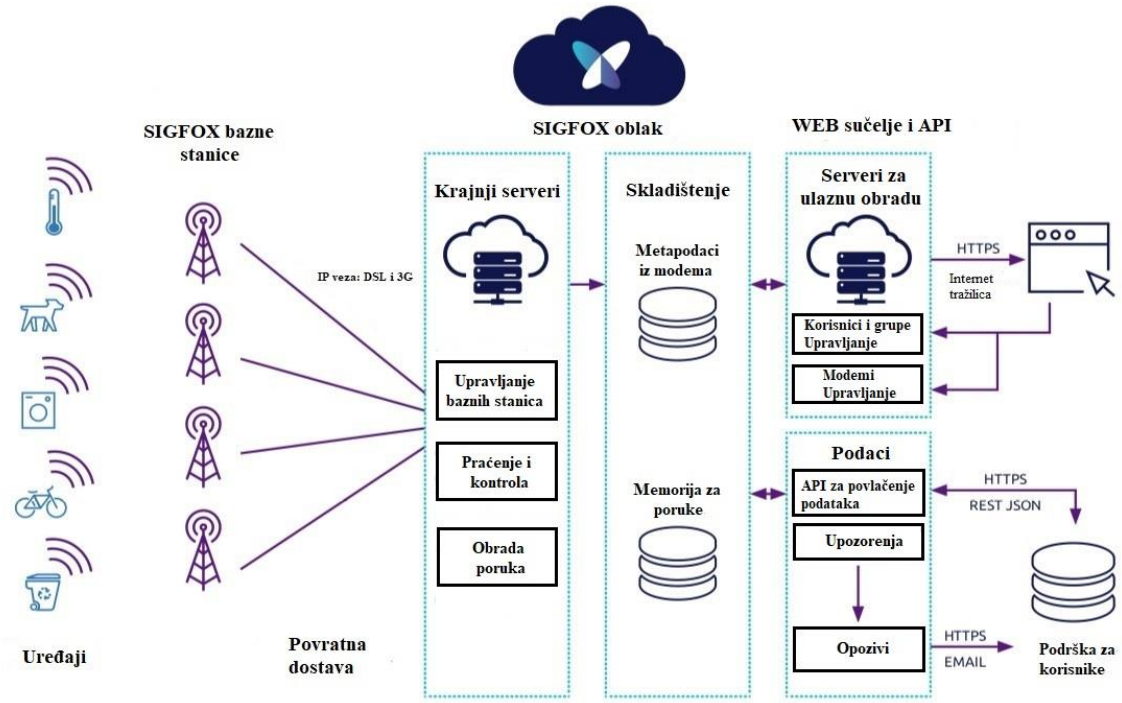
Novi standard prijenosa podataka između distribuiranih uređaja i distribuiranih pristupnika. Ima nizak kapacitet kanala, veoma nisku potrošnju energije, stoga je idealan za uređaje male snage koji su široko distribuirani i daleko od sljedećeg pristupnika. Postoje dva različita pristupa mreži, komercijalni i „community“ pristup. Community pristup se temelji na privatno izgrađenim i upravljanim pristupnicima i infrastrukturi koja prenosi podatke između aplikacije i pristupnika. LoRa je IoT (*engl. Internet of things*) digitalna bežična komunikacijska tehnologija koja je razvijena u Francuskoj a u vlasništvu je tvrtke Semtech. Radi na nelicenciranom frekvencijskom pojasu od 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (Europa) i 915 MHz (Sjeverna Amerika). Omogućava prijenos na vrlo velike udaljenosti (više od 10 km u ruralnim područjima) s vrlo niskom potrošnjom energije. Tehnologija je predstavljena u dva dijela: LoRa fizički sloj i LoRaWAN gornji sloj. LoRa fizički sloj nije dostupan javnosti, unatoč dostupnoj službenoj dokumentaciji. Nekoliko ljudi je analiziralo i dokumentiralo svoja saznanja o toj tehnologiji. LoRaWAN služi za upravljanje komunikacijskim frekvencijama, brzinom prijenosa podataka i snagom za sve uređaje. Uređaji u mreži su međusobni sinkronizirani i povezani te prenose podatke kada imaju dostupne podatke za slanje. Primjena ove tehnologije u „smart meteringu“ teško je primjenjiva u RH jer nema postavljene infrastrukture, a kada bi se neka tvrtka (za distribuciju plina) odlučila za LoRa-u, potrebno je izgraditi svu infrastrukturu što je vrlo neisplativo.



Slika 3-5. Dijagram LoRa mreže (Semtech, 2020.)

3.2.12. Sigfox

Tehnologija koja se temelji na topologiji zvijezde, zahtijeva komunikaciju s mobilnim operaterom kako bi se prenio generirani promet. Sigfox je nastao 2009. g. u Francuskoj u tvrtki koja se bavi gradnjom infrastrukture bežične mreže za spajanje uređaja koji zahtijevaju iznimno nisku potrošnju energije poput brojila i pametnih satova koji moraju biti neprekidno dostupni i emitirati male količine podataka. Sigfox omogućava komunikaciju primjenjujući ISM radio frekvencijski pojas koji radi na 868 MHz (Europa) i 902 MHz (SAD). Podržava limitiranu dvosmjernu komunikaciju. Postojeći standard za Sigfox komunikaciju podržava do 140 poruka dnevno (šest poruka po satu), gdje svaka poruka sadržava do 12 bajtova (prijenos jedne poruke traje oko šest sekundi).



Slika 3-6. Sigfox arhitektura (Cherkasova, 2018.)

3.2.13. Bežični M-Bus

Europski standard koji određuje komunikaciju između brojila i koncentratora te je razvijen za sustave umrežavanja i daljinskog očitavanja komunalnih brojila u Europi. On je primijenjen kao osnova za naprednu infrastrukturu očitanja (AMI, *engl. Advanced Metering Infrastructure*), odnosno automatsko očitavanje impulsnih plinskih brojila (AMR, *engl. Automatic meter reading*) (Mihajlović et al., 2016.). Ovaj sustav za daljinsko očitavanje

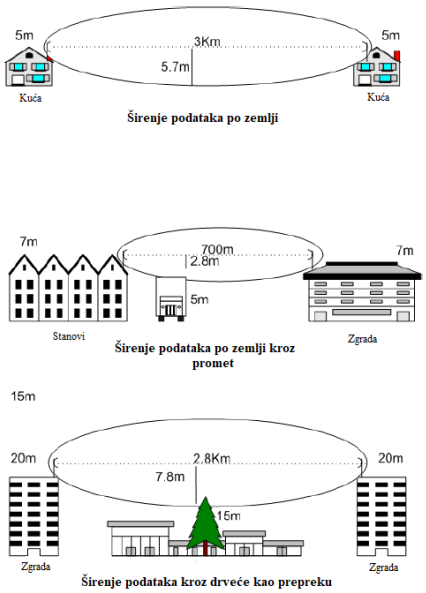
brojila vode, energije, električne energije i plina možemo smatrati ekonomičnim jer nije potreban obilazak osoblja po kućama i stanovima korisnika kako bi se očitala brojila. Smješten unutar zgrade nalazi se sustav za prikaz i upravljanje preko kojeg se sustav može povezati. Uređaji pametne mreže zahtijevaju komunikaciju na veće udaljenosti. Sustav radi na ISM frekvencijskom pojasu, 868 MHz, 433 MHz i 169 MHz, koji su u Europi nelicencirani pojasevi i osiguravaju bolju raspodjelu radiovalova u usporedbi s 2,4 GHz. Primjenom ovih nelicenciranih pojasa omogućava se radiovalovima prolazak težeg terena kao što je slučaj brojila pod zemljom ili zgrade koje imaju nekoliko zidova. Još jedna prednost korištenja ISM pojasa je i niža cijena za poduzeća. Kako pametno mjerenje raste po važnosti diljem svjetskih energetskih tržišta, pojavljuje se i tema dizajn arhitekture AMI sustava.

3.2.14. NB IoT

Nova mrežna tehnologija koja je namijenjena uređajima koji nemaju potrebe za kontinuiranom povezanošću na mreži i šalju male količine podatkovnog prometa bez potrebe za MMS ili SMS komunikacijom. Tehnologija je pogodna za primjenu u rješenjima namijenjenima poslovnim i privatnim korisnicima, npr. za praćenje pošiljki, upravljanje otpadom, pametno parkiranje, pametna brojila, pametne kuće. Prednosti ove tehnologije su niski troškovi i jednostavan komunikacijski modul koji omogućava izravno povezivanje senzora i drugih uređaja na mobilnu mrežu. Velika je prednost što nije potrebna instalacija i održavanje lokalnih mreža, odnosno „gatewaya“. Osigurana je niska potrošnja energije (povećanje trajanja baterije što može iznositi 10 godina). NBIoT je utemeljen na globalnom industrijskom standardu za mobilne mreže i pruža prednosti rada u licenciranom komunikacijskom spektru. Tehnologija bi trebala osiguravati odličnu kvalitetu mobilnog signala i rasprostranjenost u zatvorenim prostorima, to je bitno za primjenu poput plinomjera koji može biti u podrumu ili između zidova zgrade.

3.3. VIDNO POLJE

Vidno polje (*engl. line od sight*), je tip širenja valova koji šalju i primaju podatke samo kada su odašiljač i prijemnik u vidnom polju i kada nema nikakve vrste prepreka između njih te to je karakteristika elektromagnetskog zračenja ili zvučnog širenja valova. Valovi odašiljača niske snage mogu biti zaustavljeni od grana drveća, kiše i težih vremenskih uvjeta.



Slika 3-7. Vidno polje (Wikimedia, 2007.)

3.4. DOSTUPNE TEHNOLOGIJE MEĐU PAMETNIM BROJILIMA PLINA U HRVATSKOJ I REGIJI

Moderni sustavi pametnih brojila plina se baziraju većinom na industrijskim wireless tehnologijama (npr. Wireless M-Bus), GSM/GPRS tehnologiji ili mesh radio mrežama (npr. ZigBee), povrh kojih se koriste razni komunikacijski protokoli. Osnivanjem radne grupe od strane EU-a izrađen je nacrt tehničkih preporuka sa zahtjevima koje bi takvi sustavi morali ispuniti, kao što su zaštita i enkripcija podataka, anonimizacija podataka, interoperabilnost između industrija (električna energija, plin, voda). Od tehnologija spomenutih u prijašnjem potpoglavlju, nijedna nije univerzalna i primjenjiva na svakom području te zbog toga treba tražiti rješenje koje je primjenjivo za pojedino područje.

Tehnologiju, protokole i opremu baziranu na širokopojasnoj bežičnoj tehnologiji moguće je koristiti u Republici Hrvatskoj zbog dostupnosti tehnologije jer SIGFOX mrežom pokriveno oko 90% populacije odnosno oko 70% teritorija RH te ju je moguće primijeniti pri pametnom mjerenju plina dok je npr. u Nizozemskoj pokrivenost SIGFOX mrežom oko 95% teritorija. NB-IoT tehnologiju je također moguće koristiti jer je dostupna infrastruktura u Republici Hrvatskoj. Primjena RF tehnologije u Republici Hrvatskoj je moguća, ali vrlo neisplativa jer ne postoji infrastruktura te je svaka tvrtka primorana izgraditi svoju mrežu za svoje potrebe. Proizvođači opreme garantiraju vrlo velik domet signala svoje opreme (do 7 kilometara), što

nije ni približno toliko u praksi jer je upotreba RF tehnologije u naseljima i obiteljskim kućama neisplativa zbog dometa signala oko 150 metara i to samo u slučaju da nema nikakvih prepreka i građevina (*engl. line of sight*), što je gotovo nemoguće postići u praksi. RF tehnologija je na ovom teritoriju isplativa i primjenjiva u „walk by“ ili „drive by“ metodi očitavanja brojila. „Walk by“ i „Drive by“ metoda podrazumijeva očitavanje mjernih mjesta preko ručnog terminala, tableta, laptopa, pametnog telefona, na terenu bez gubitka vremena i bez rizika uz poštivanje privatne sfere potrošača. Tom metodom je potrebno fizički (pješke ili autom) proći par metara od mjernog uređaja kako bi se primila informacija. Moguće ih je koristiti u stambenim zgradama s više plinomjera i to isključivo u slučaju da se plinomjer (uređaj za slanje podataka) nalazi u zajedničkom prostoru (hodniku) s koncentratorom, što je najrealnija primjena ove tehnologije. Na primjeru daljinskog očitavanja brojila u Velikoj Britaniji vidljiv je primjer odlične iskoristivosti tehnologije za daljinsko očitanje gdje postoji jedan distributer za vodu, plin i električnu energiju. Na vodomjeru i plinomjeru je primijenjena ZigBee ili WM-Bus tehnologija koja ima kratak domet, ali dovoljan da pošalje podatke do brojila električne energije koji ima električnu energiju iz električne mreže (nema ograničenja u smislu potrošnje samog uređaja) koji zatim pošalje podatke na server putem širokopojasne tehnologije (SIGFOX, LoRa ili NB-IoT) ili GSM/GPRS mobilne mreže (detaljno opisano u trećem poglavlju). U Republici Hrvatskoj postoje zakonska ograničenja i regulative koje su kompleksne za primjenu. Drugim riječima, distributer vode i plina treba predati podatke distributeru električne energije, što je protivno zakonu o zaštiti podataka i potrošača. Distributer električne energije bi, također, naplaćivao uslugu primanja i slanja podataka na server.

Priroda ZigBee protokola omogućava slanje podataka od uređaja do uređaja (Mesh mreža), te se zbog toga može koristiti za slanje podataka na veće udaljenosti. Tehnologija je pogodna za prikupljanje podataka iz cijele stambene zgrade ili ulice naselja. U praksi se pokazalo da to nije dobro rješenje, prvenstveno zbog velike potrošnje energije. Zbog svoje topologije, ZigBee nije pogodan za pametna brojila plina i uređaje koje troše puno energije. Svaki puta kada treba poslati podatak, uređaj gleda cijelu topologiju mreže i pronalazi najbliži čvor, što nije praktično rješenje za pametna brojila plina koji su na fiksnoj udaljenosti. GSP/GPRS je bolja tehnologija jer je upotreba mjernih uređaja i modula jednostavna, odnosno ne zahtijeva velike logističke zahvate, održavanje je jednostavnije i jeftinije, cijena prijenosa podataka je prihvatljiva te ima tendenciju pada što ovisi o količini instaliranih uređaja.

4. PAMETNA TOPLINSKA BROJILA

Danas toplinska brojila samo mjere potrošnju toplinske energije i ona obično ne omogućavaju prijenos izmjerenih podataka na daljinu. Nadalje, mjerenja toplinske energije su provedene bez procjene stvarne kvalitete obrađene toplinske energije. Ipak, tipične funkcije pametnih brojila bi trebale omogućiti kontinuirani prijenos energetskih podataka, kao i interakciju s problemima u dobavi i upravljanju.

Toplinsko mjerenje je relativno kompleksan proces, posebno zato što se odvija mjerenjem triju parametara nosača topline: odnosno mjeri se dobavna temperatura korisnika, povratna temperatura od korisnika i brzina protoka nosača topline. Toplinska energija je zatim izmjerena od tih parametara i prikazana je u MWh ili u kWh. Sljedeći podaci mogu se očitati s toplinskog brojila:

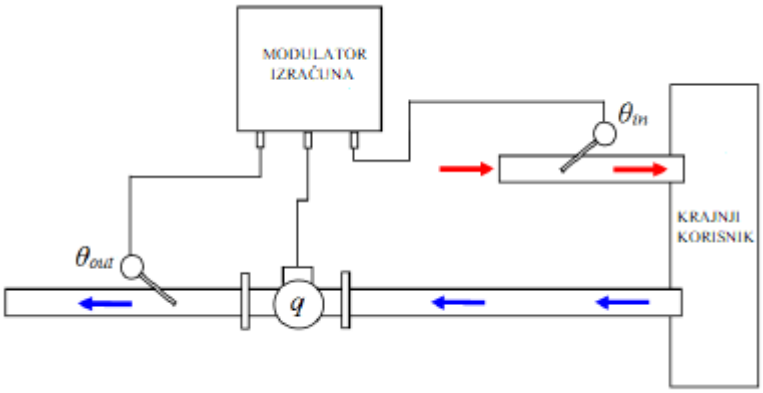
- toplinska energija
- volumen cirkulirane vode u centralnom toplinskom sustavu
- trenutno hlađenje vode iz centralnog toplinskog sustava
- trenutne vrijednosti temperature dobavne i povratne vode kao dio vode iz centralnog toplinskog sustava
- trenutne vrijednosti snage i brzine protoka vode

Pametno brojilo je multifunkcionalni uređaj koji pruža mnoštvo korisnih informacija i upravljačkih alata te također pruža informacije o korištenju energije (kako, gdje, koliko, kada) i je li omogućena ušteda energije. Dodatno, pametna brojila omogućavaju uskladištenje podataka i lokalno i slanjem podataka preko komunikacijske mreže do opskrbljivača. Zahvaljujući širokom izboru sučelja pogodnih za temperaturne senzore i senzore protoka i ostale uređaje, pametna toplinska brojila mogu pružiti točnu sliku energetske potrošnje i mogu napraviti efikasne energetske preglede u kratkom vremenskom roku.

Toplinska energija može biti mjerena ili na direktan način što znači mjerenjem toplinskim brojilima ili na indirektan način što znači mjerenjem takozvanim razdjelnicima topline.

Toplinska brojila mjere toplinsku energiju kombiniranjem brzine volumnog protoka fluida koji provodi toplinu ulaženjem i izlaženjem iz zatvorenog toplinskog kruga s razlikom entalpije između ulazne i izlazne sekcije kruga. Nadalje, u toplinskog krugu u kojem je fluid koji nosi toplinu većinom u tekućem stanju, razlika tlakova između ulazne i izlazne sekcije može se zanemariti. Stoga da bi se dobila razlika entalpije trebalo bi biti dovoljno izmjeriti

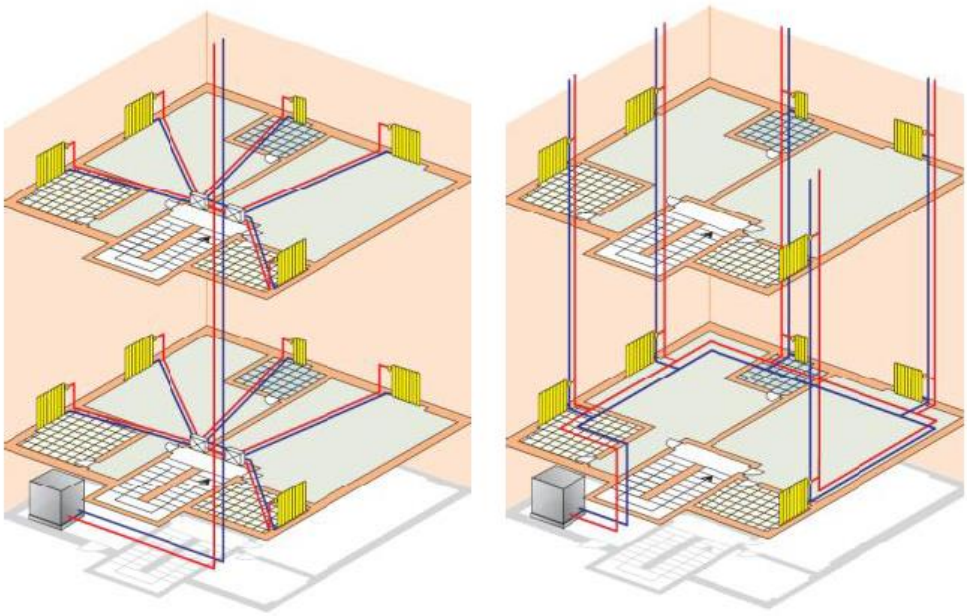
ulazne i izlazne temperature i znati toplinska i fizikalna svojstva toplinskog fluida na tim temperaturama.



Slika 4-1. Shema proračuna toplinskog brojila (Celenza et al., 2013.)

Takozvani razdjelnici topline su uobičajeno korišteni za mjerenje toplinske energije indirektnim načinom. Ovi uređaji ne omogućavaju efikasno stvarno mjerenje toplinske energije nego jedino pokazuju koliki ukupni udio potrošnje topline korisnici čine u ukupnoj potrošnje topline u zgradi. Stoga je uvijek nužno dobiti mjerenja totalne energije dobivene direktno montiranim toplinskim brojilom na ulazne i izlazne sekcije cijele zgrade ili toplinskim brojilom na samo dijelu zgrade. Razdjelnici topline su, u stvari, montirani na svaki radijator prisutan u svakom kućanstvu i oni registriraju temperaturu (specifično temperaturu površine radijatora i površine okoline).

U modernim zgradama, upotreba centralnih grijaćih/rashladnih postrojenja su sada sve više i više poticana usprkos lokalnih već ugrađenih, jer je puno lakše održavanje i od njih se očekuje viša toplinska efikasnost i manje onečišćavanje okoliša. U tom scenariju, mogućnost ugradnje pametnih brojila u svrhe grijanja i hlađenja mogu dovesti do sljedećih slučajeva: a) direktno toplinsko brojilo instalirano na ulaznoj i izlaznoj sekciji svakog kućanstva u prstenastoj konfiguraciji (slika 4-2.a)); b) direktno toplinsko brojilo instalirano na bazi stupa povezanog s razdjelnicima topline na svakoj razini zgrade (slika 4-2.b)).



Slika 4-2. Centralne grijaće/rashladne konfiguracije (Celenza et al., 2013.)

Druga konfiguracija može biti korisna za energetsku prenamjenu postojećih zgrada i slaganje uređaja s istim karakteristikama (npr. tip radijatora, uvjeti instalacije …) radi veće efikasnosti i mjerenja potrošnje, kao i za svrhe knjigovodstva i rukovodstva. Ipak, glavno ograničenje korištenja pametnih brojila, ne samo za mjerenje toplinske energije, dolazi iz manjka međusobnog djelovanja između različitih uređaja (brojila, koncentratora, upravljačkih programa). Stoga, u pametnom toplinskom brojilu, kolektor može biti povezan sa centralnom jedinicom radi automatskog prikupljanja podataka koji dolaze od ostalih jedinica (drugih toplinskih brojila ili toplinskih razdjelnika). Uz tradicionalno naplaćivanje usluga, prijenos i objašnjenje ovih podataka može omogućiti potrošaču da dobije ispravno upravljanje grijaćim/rashladnim postrojenjem zajedno s energetskom dijagnostikom kompletne stambene jedinice u stvarnom vremenu. Nadalje, pametna toplinska brojila mogu omogućiti sljedeće usluge:

- praćenje i optimizacija potrošnje korisnika i unutarnjih dobavnih sustava (bojleri, peći, klima uređaji),
- detekcija mogućih anomalija u postrojenju i/ili puknuće veze nekih uređaja radi sprečavanja mogućih grešaka u sustavu,
- detekcija opasnih uvjeta (dimovi, plinovi, propuštanja vode/topline, vatra) što omogućava daljinski prekid električne energije, plina ili topline korištenjem dostupnih sustava za upozorenje,

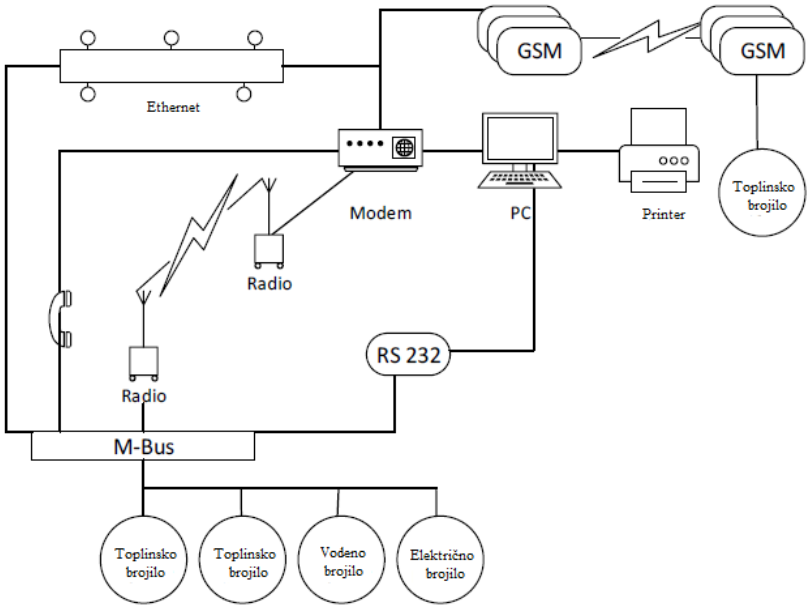
- detekcija provala u sustav, što omogućavaju uobičajeni alarmni sustavi,
- definiranje politike naplate bazirane na stvarnoj količini dostavljene topline,
- integracija s ostalim pametnim brojilima (električni, plinski i vodeni) i razdjelnicima topline,
- operativno rukovanje i energetska dijagnostika postrojenja i stambene jedinice u stvarnom vremenu.

4.1. KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE PAMETNIH TOPLINSKIH BROJILA

Redovito unapređenje i optimizacija ponuđenih trenutnih usluga vodilo je kroz godine sve energetske opskrbljivače do potrage za alternativama očitavanja podataka i prijenosa podataka od energetskih brojila do centralnog kolektorskog mjesta. Povezivanjem globalnih energetskih tržišta nastala je potreba za trenutnim reakcijama u stvarnom vremenu na stvarne potrebe energetskih sustava. Novi sustavi, zahvaljujući svojim mogućnostima daljinske komunikacije, mogu zadovoljiti maksimalne mogućnosti dobave i zatim potrebnu optimizaciju dobavljene toplinske energije, naročito u vršnoj potrošnji kako bi se izbjegli kolapsi energetskog sustava. Jedno moguće rješenje su sofisticirani sustavi brojila koji nude trenutno očitavanje i omogućuju opskrbljivačima optimiziranje dobave s potrebnim regulacijama.

Da bi se mogla uspostaviti komunikacija na daljinu s toplinskim brojilima postoji pet temeljnih metoda komunikacije: telefon, Ethernet, radio, GSM i RS 232. Prijenos podataka GSM modulom funkcionira na način da mjereći uređaj sadrži GSM modul i sam prijenos se odvija preko mobilne mreže koristeći tekstovne poruke. Da bi se dobila poruka mora se izabrati modem, i povezati ga s GSM modulom, preko kojeg se šalju podaci do računala na daljnju obradu. Za ostale metode komunikacije koristi se M-Bus, u kojem se prijenosi podataka šalju od svakog pojedinačnog brojila. Uređaji u koji se ne mogu postaviti M-Bus moduli moraju biti opremljeni s konverterom, koji pretvara impulse u M-Bus izlazne podatke. Ovisno o tipu M-Busa, M-Bus je sposoban za direktnu komunikaciju s računalom preko RS 232 porta ili uspostavljanjem komunikacije s modemom preko radijskog prijenosa. Može se koristiti direktna veza preko telefonske linije ili Etherneta ako je tehnologija dostupna. Sljedeća shema prikazuje prikupljanje podataka u sustavu centralne distribucije proizvedene topline. Svi podaci su zatim preneseni u dispečerski sustav lociran u dispečerskom

toplinskom postrojenju. Tamo se onda podaci dalje obrađuju preko kontrolnih programa i šalju na naplatu krajnjim korisnicima energije.



Slika 4-3. Shema prikupljanja podataka u sustavu centralne distribucije proizvedene topline (Holik et al., 2015.)

Za komunikaciju između individualnih uređaja u industriji proizvodnje topline, mora se pripaziti na nekoliko ključnih aspekta tipičnih za ovaj tip industrije:

- pozicija brojila,
- mrežna topologija,
- korištenje već postojećih komunikacijskih sustava,
- uređaji s utjecajem na okoliš.

Pazeći na ove činjenice, većinom se izaberu uređaji direktno proizvedeni za toplinsku industriju, ali doseg njihove primjene je značajno limitiran. Izabrana metoda komunikacije bi trebala omogućiti jednostavno povezivanje brojila u već postojeće sustave bez ikakvih dodatnih troškova stvaranjem novih komunikacijskih kanala i dati prioritet korištenju standardnih komunikacijskih protokola nad novim tek uspostavljenim komunikacijskim kanalom.

Mogućnost korištenja komunikacijskih tehnologija u području industrije toplinske proizvodnje ovisi o pristupačnosti individualnih tehnologija na mjestima gdje su locirana individualna pametna brojila. Pet općih tehnologija je uzeto u obzir:

- radio modemi (ova tehnologija je prikladna za prijenos telemetričkih podataka i nekritičnih kontrolnih naredbi, ako je tehnologija ispravno konfigurirana može biti također korištena za prijenos kritičnih kontrolnih naredbi),
- GSM (*engl. Global System for Mobile Communication*) (ovaj tip tehnologije omogućuje povezivanje raznih uređaja, većinom računala, kontrolnih automata, LAN mreža, kamera itd., ova tehnologija je prikladna za prijenos telemetričkih podataka i nekritičnih kontrolnih naredbi),
- Ethernet (tehnologija tipična za LAN mreže, povezivanje krajnjih stanica do infrastrukture veće mrežne razine koristeći dodatne mrežne elemente, ova tehnologija je prikladna za prijenos telemetričkih podataka i kritičnih kontrolnih naredbi),
- CSD (*engl. Circuit Switched Data*) (tehnologija za mobilno povezivanje na Internet, ova tehnologija je prikladna za prijenos telemetričkih podataka i nekritičnih kontrolnih naredbi),
- WiFi (bežično povezivanje pomičnih i fiksnih uređaja i njihovo povezivanje u lokalnu LAN mrežu, ova tehnologija je prikladna za korištenje u administrativnim mrežama i manjim lokalnim telemetričkim i kontrolnim mrežama).

Odlučujući faktor za odabir komunikacijske tehnologije u industriji toplinske proizvodnje je koncentracija mjerećih uređaja u danom području. Opsežnost mreže je direktno ovisna o operacijskim i ekonomskim troškovima i povratku investicije. Sljedeće dvije slike pokazuju strukturne modele s više ili manje gušćom količinom mjesta odašiljača podataka.



Slika 4-4. Model mreže s velikom količinom mjesta odašiljača podataka (Holik et al., 2015.)



Slika 4-5. Model mreže s manjom količinom mjesta odašiljača podataka (Holik et al., 2015.)

Pri uspoređivanju individualnih tehnologija za prijenos podataka u industriji toplinske proizvodnje treba uzeti u obzir temeljne aspekte mjesta odašiljača podataka, način naplaćivanja usluga, intenzitet elektromagnetskog zračenja, cijene licenci itd. Još jedan bitan

aspekt koji treba uzeti u obzir je ulazni terminal, u koji spada plaćanje pružatelju usluge, kapacitet mreže, jednokratna naplata, smetnje signalu i sigurnost prijenosa.

U slučaju korištenja radio modema u svrhe industrije toplinske proizvodnje nužno je izgraditi svoje pristupne punktove. U slučaju nemogućnosti postavljanja antena na svoje objekte, treba uzeti u obzir iznajmljivanje objekata te konačan broj terminala utječe na pouzdanost prijenosa. Prednost korištenja ovog načina je u tome što nema plaćanja drugim pružateljima usluga.

GSM (*engl. Global System for Mobile Communication*) tehnologija je prikladna za korištenje u industriji toplinske proizvodnje i koristi se ponajviše za naredbe kontrolnim automatima. Glavna prednost ovog načina je u tome što nema troškova za realizaciju mreže i sigurnost prenesenih podataka. Neke od nedostataka su potreba potpisivanja ugovora za pružateljem usluga, navođenje količine prenesenih podataka, plaćanje pružatelju usluga, mala brzina prijenosa podataka.

Korištenje Etherneta je prikladno u temeljnim mrežama, komunikaciji individualnih mjesta odašiljača podataka s dispečerom. Prednosti su što nema plaćanja drugim pružateljima usluga, velika brzina prijenosa podataka i mogućnost implementacije u područjima s velikom količinom smetnji. Nedostatci su postavljanje kablova na tuđim posjedima, nužna dozvola vlasnika posjeda, plaćanje naknada vlasnicima posjeda i plaćanje troškova postavljanja kablova.

CSD (*engl. Circuit Switched Data*) je relativno nova metoda prijenosa podataka, čije korištenje trenutno nije širom rasprostranjeno u industriji toplinske proizvodnje. Prijenos podataka preko mobilnih mreža povezivanjem preko interneta nudi prednosti u tome što nema plaćanja uspostavljanja usluge, jeftiniji modem i jeftiniji rad SIM kartica. Nedostatci su više ili manje identični nedostatcima GPRS-u.

Tehnologija WiFi-a zahtjeva gradnju vlastitih pristupnih točaka i plaćanje naknada za postavljanje antena. Ovaj nedostatak može biti djelomično eliminiran postavljanjem antena na svojim objektima. Neke prednosti su u tome što nema plaćanja drugim pružateljima usluga i relativno niski troškovi prikupljanja podataka. Implementacija ove tehnologije je preporučena za administrativne mreže i lokalne odjele.

Dosta faktora se uzima u obzir pri odabiru metode prijenosa podataka, te cijena prenesenih podataka nije ključni kriterij odabira. Prvo, nužno je odabrati svrhu za koju koristimo

prijenos, bilo to jedino za prijenos izmjerenih podataka od brojila ili također i za korištenje kontrolnih naredbi. GPRS zahtijeva prikupljanje SIM kartica, mjesečne naknade, više cijene modema, ali prednost je u tome što nema plaćanja za vrijeme povezivanja. Temeljni nedostatak CSD modema je u cijeni, što je djelomično nadomješteno s jeftinijom cijenom modema, SIM kartica i temeljnih pretplatnih usluga. Stoga, u svrhu korištenja jedino prijenosa podataka od brojila, GPRS komunikacija je bolja, ali u slučaju kontroliranja svoje tehnologije, viši zahtjevi za prijenos podataka će se pojaviti a za takvu komunikaciju CSD tehnologija je bolji izbor. Još jedan faktor koji treba uzeti u obzir je pouzdanost prijenosa podataka, što je posljedica tipa tehnologije koja se koristi. Prijenos podataka preko paketa, gdje nema fiksnog zadanog vremena za obavljanje prijenosa je značajno nedosljedan i stoga se ne preporuča za korištenje u industriji proizvodnje topline. U nekim slučajevima je bolje napustiti GSM prijenos kompletno, jer je ova mreža bila primarno dizajnirana za prijenos poziva i u slučajevima kada može doći do preopterećenja mreže, ovaj tip prijenosa je poželjan.

Današnje tehnologije prijenosa podataka i njihove opcije će se dodatno u budućnosti razvijati, ali kompletno usavršavanje ovih tehnologija je tehnološki i financijski veoma zahtjevan posao. Iz analize mrežne topologije, može se doći do tri temeljna rješenja za komunikaciju podataka na daljinu. Prva i već uspostavljena komunikacija u industriji proizvodnje topline je komunikacija s M-Busom, što je uvedena za područje brojila potrošnje energije, ali uzeći u obzir nuždu za instaliranjem kablova, opcija daljnjeg razvoja je limitirana i može biti jedino realizirana u slučaju novog razvoja tijekom rekonstrukcije sustava. Druga opcija je uvođenje GSM ili GPRS modula. Nedostatci većeg uvođenja ove tehnologije su visoki troškovi pristupa, potreba za postavljanjem brojila topline i česti prekidi prijenosa podataka (mijenjanje kablova, mijenjanje jačina i tipova signala itd.). S trenutnim uspostavljenim tehnologijama nužno je uvesti treću metodu komunikacije (kombiniranje dviju gornjih metoda) da bi se pristupilo individualnim mjestima odašiljača podataka i definirali uvjeti individualnih prijenosnih uređaja. U slučaju manjih mreža ili rjeđe količine mjesta odašiljača podataka, poželjno je koristiti M-Bus tehnologiju. U slučajevima kada je uspostavljenje fiksne mreže s prijenosom podataka ne bi bilo ekonomski i proceduralno prihvatljivo, efikasnije je uspostaviti GSM tehnologije. Uzimajući u obzir već uspostavljenje sustave prijenosa podataka, mogućnosti korištenja već postojećih distribucijskih sustava ne smiju pasti u zaborav.

4.2. PRIMJER: M-BUS PAMETNO TOPLINSKO BROJILO

Neke od ključnih značajki ovog brojila su:

- mjerenje iskorištene energije u sustavima grijanja i hlađenja
- kompletni toplinski paket spada u rang preciznosti razina klase 1
- postrojenje za programiranje na terenu i digitalni ključ za mogućnost reprogramiranja
- prilagođen za sve vrste naplaćivanja uključujući i RHI (*engl. Domestic Renewable Heat Incentive*)
- otvoreni kolektorski pulsirani izlazni signal (s graničnim krugom) kao standard
- digitalni temperaturni senzori visoke preciznosti s ROM (*engl. read-only memory*) čipom
- senzori ne moraju biti u upareni



Slika 4-6. M-Bus pametno toplinsko brojilo (Meters UK Limited, 2020.)



Slika 4-7. M-Bus pametno toplinsko brojilo (Meters UK Limited, 2020.)

5. UNAPREĐENJE CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA GRIJANJA UZ POMOĆ PODATAKA PAMETNIH BROJILA

Dimenzioniranje centralnih toplinskih sustava uključuje kompromis između pouzdanosti i kontinuiranosti usluge, a i izbjegavanja plaćanja kapitalnih i operativnih troškova koji su posljedica predimenzioniranih sustava. Da bi najbolje optimizirali sustav potrebna je detaljna analiza i razumijevanje energetskih potreba određenog sustava. Stoga, zbog česte predimenzioniranosti centralnih toplinskih sustava potrebno je koristiti ogromne količine podataka dobivenih korištenjem pametnih brojila. U ovom poglavlju bit će objašnjena važnost podataka pametnih brojila za pravilnu optimizaciju centralnih toplinskih sustava. Kako bi se pravilno mogli dizajnirati i ekonomski implementirati centralni toplinski sustavi i uz to zamijeniti postojeće plinske bojlere, potrebno je shvatiti stvarne toplinske potrebe sustava uz pomoć tih podataka. Količina potrošene toplinske energije i vršnih potreba sustava su ključni faktori vezani uz stvarne potrebe količine stvorene topline, dimenzija cjevovoda i podstanica centralnog toplinskog sustava. Oni mogu biti korišteni da bi se uvjerili da instalirani kapaciteti sustava mogu podnijeti stvarne potrebe topline u sustavu, kao i nepredvidive poraste potreba sustava, uz općenito poboljšano korištenje sustava.

Energetski profil opterećenja sustava pokazuje kako se energija iskorištava tijekom vremena i može biti sažet uz pomoć različitih prostornih i vremenskih mjerila kao rezultat komunikacije više različitih podsustava. Pojedinačna domaćinstva mogu iz više razloga imati ogromne razlike u režimima energetskih potreba, kao i različito vrijeme vršne potrošnje energije. Stoga, sažimanjem velike količine podataka od različitim potrebama kućanstava smanjuje stvarne potrebe sustava te bolje ga optimizira zbog raznolikosti potreba svakih od tih kućanstava te svakim novim dodavanjem kućanstva sve bolje i bolje se sustav može optimizirati.

Termin „raznolikost potrebe“ (*engl. demand diversity*) koristi se kako bi se opisao ovaj fenomen, što je ključ određivanja kapitalnih troškova i ekonomskih mjerila svih energetskih mjerila kao i gubitaka u distribuciji centralnih toplinskih sustava. Također ova pojava se može koristiti da bi se procijenile potrebe investicije, dizajnirali ugovori i odredile tarife, regulirale potrebe za stvaranjem energije i nabava energije te razvijali energetski modeli. Posljedično, rezultati vršnih potreba za toplinom i studija raznolikosti dovode usluge za opskrbu toplinom do optimalnih razina kako bi se što bolje pripremile za vrijeme vršnih potreba i opskrbile opremom za točno potrebne količine sustava.

U industriji opskrbe toplinskom energijom, pristup „pravilo palca“ (*engl. rule of thumb*) je uobičajeno korišten kako bi se procijenila potrošnja topline i raznolikost potreba sustava. U toj industriji, instalateri opreme koji su obučeni za dizajniranje sustava toplinskih bojlera često namjerno predimenzioniraju toplinske sustave radi osiguranja od nesmotrenih poddimenzioniranja sustava. Ipak, različitim zakonima u Velikoj Britaniji ta pojava se s vremenom u potpunosti iskorjenjuje korištenjem podataka pametnih brojila, praćenjem opskrbe topline domaćinstava itd.

Procjena trenutne potražnje za toplinom je zahtijevan proces jer je posljedica kompleksnih interakcija između izolacijskih slojeva građevina, toplinskih sustava, vremenskih uvjeta i ponašanja stanara. Stvarna potreba za toplinom se rijetko mjeri direktno te gdje je moguće podaci plinske potrošnje mogu biti iskorišteni, uz oprez, kao putokaz do stvarne potrebe za toplinom. Stoga, u prošlosti, veoma je teško bilo stvoriti optimizirane toplinske sustave zbog nedostataka podataka pametnih plinskih i toplinskih brojila.

Raznolikost potreba za energijom dolazi od završnih korisnika i tehničkih sustava u građevinama te je to nužno shvatiti kako bi se što bolje procijenile tehnologije za opskrbu energijom i za dizajniranje efikasnih strategija potrošnje da bi se udovoljila potražnja za energijom.

5.1. ENERGETSKI PROFIL OPTEREĆENJA SUSTAVA I RAZNOLIKOST ENERGETSKIH PROFILA

Raznolike varijacije u ponašanjima energetske potrošnje od pojedinačnih stanara će odrediti ukratko karakteristične potrebe za energijom u skladu s različitim godišnjim dobima i dobima dana. Studije su pokazale da sažeti profili potrošnje plina, električne energije i grijanja u sustavu mogu pružiti sezonske i dnevne karakteristike uzoraka potrošnje u različitim tipovima kućanstava. Predviđanje potrošnje je prepoznato kao ključni ulazni parametar za planiranje miješanih energetskih distributivnih sustava.

Godišnje krivulje izmjerene potrošnje, dnevni ili satni profili tijekom vršne potrošnje ili van vršne potrošnje su potrebni za razvijanje modernih centralnih toplinskih sustava za proizvodnju i distribuciju energije. One su posebno važne za praćenje opterećenja sustava da bi se osigurala pouzdanost sustava, smanjili rizici neadekvatnog dimenzioniranja i obustave usluga. Mnoge studije sigurnosti energetskom opskrbom su pronašle ogromne poraste u

prosječnoj potrošnji energije i vršne potražnje za energijom tijekom određenih dijelova godine, kao posljedica promjena različitih vremenskih prilika tijekom godine u različitim regijama svijeta. U nedavnoj studiji u Velikoj Britaniji, tijekom analize prosječne potražnje za plinom po satu, za vrijeme velikih hladnoća u vremenu od 17:00 do 20:00 u ožujku 2018. godine, su došli do zaključka da je potražnja za plinom porasla za 116 GW (od 89 GW do 205 GW) u tom periodu. Došli su do zaključka da proučavanje vršne potražnje topline uz pomoć empirijskih podataka može biti ključan faktor u upravljanju energetskim sustavom za vrijeme ekstremnih vremenskih uvjeta.

Postoji nekoliko studija istraživanja o profilu potrošnje topline koristeći stvarne podatke energetske potrošnje od velikih uzoraka. Yao R i Steemers K. su 2005. godine razvili jednostavnu metodu za simuliranje dnevnog profila potrošnje topline u stambenim zgradama Velike Britanije. Summerfield et al. (2014. godine) su analizirali podatke energetske potrošnje od pametnih brojila i istraživali su cjelodnevne profile isporučene energije kako bi kategorizirali energetske performanse stanara i odredili količinu energetske uštede nakon optimiziranja sustava.

U ranijim studijama prošlog stoljeća, izračunate su i predviđene raznolikosti elektroenergetskih, plinskih i toplinskih opterećenja sustava. Termin „faktor raznolikosti“ (*engl. diversity factor*) je bio predstavljen kao indeks koji predlaže uvid u mogućnost da će jedno domaćinstvo potrošiti energiju nevezano s drugim domaćinstvima. To je predstavljeno definicijom: odnos sume individualnih neslučajnih maksimalnih potraživanja različitih podsustava u sustavu i maksimalnog potraživanja kompletnog sustava. Faktor raznolikosti nikad nije manji od jedan. Što je viši faktor raznolikosti, to je manja vjerojatnost da će energetske potražnje domaćinstava postići vrhunac u isto vrijeme. Neke studije su također koristile izraz „faktor slučajnosti“ (*engl. coincident factor*), što je recipročna vjerojatnost faktora raznolikosti, kao što je prikazano u jednadžbi i ima vrijednost između nula i jedan.

$$Faktor\ raznolikosti = \frac{\sum Individualna\ maksimalna\ potražnja}{maksimalna\ potražnja\ prosječnog\ sustava} \qquad (5\text{-}1)$$

$$Faktor\ slučajnosti = \frac{1}{Faktor\ raznolikosti} \qquad (5\text{-}2)$$

Iako nema standarda za određivanje veličine faktora raznolikosti za toplinsku potražnju u stambenim naseljima u Velikoj Britaniji, neki standardi su bili uvedeni kako bi se okarakterizirao efekt raznolikosti u drugim državama za različite svrhe uključujući dimenzioniranje kapaciteta toplinskih izmjenjivača, cijevi vruće vode i brzine protoka vruće

vode u centralnim toplinskim sustavima. Kako bi se izračunali faktori raznolikosti, korišteni su različiti standardi u kojima su bili pretpostavljeni razni ulazni faktori i pretpostavke kao što su broj stanara i kućanstava ili brzinu protoka vruće vode. Standard MTA2016 je korišten u Francuskoj i predlaže faktor slučajnosti domaće potražnje za vrućom vodom padne od 1,0 do 0,125 kada broj stanova poraste od 1 do 14. Nakon prilagođavanja Kodeksa prakse (*engl. Code of practice*) za instalacije pitke vode i pretpostavljanja da su sve stambene zgrade standardizirane, standardi DIN 4708 i DIN 1988-300 su korišteni za izračunavanje potražnju vruće vode, dimenzije cijevi centralnog toplinskog sustava i određivanje vršnih brzina protoka za potrebe tople vode u kućanstvima u Njemačkoj.

Nadalje, danski standard DS439 je najčešće korišten standard u sektoru centralnog toplinskog sustava i uveden je da bi se dimenzionirao izmjenjivač topline za domaće potrebe vruće vode bazirane na „broju normalnih kućanstava“ i prihvaćen je kao standardna krivulja raznolikosti za dizajniranje i razvijanje centralnih toplinskih sustava u Velikoj Britaniji.

Precizna toplinska mjerenja su ključna za efikasnu procjenu performansi toplinskih tehnologija. Ipak, izmjereni podaci potrošnje topline su rjeđi nego izmjereni podaci električne energije u Velikoj Britaniji te su ponekad kontradiktorne statistike prijavljene od različitih izvora. Da bi se stvorili efikasni i pouzdani toplinski sustavi potrebno je bolje u budućnosti razumjeti stvarnu potrošnje energije i raznolikost potražnje.

5.2. PODACI I METODE PROJEKTA EDRP

Podaci o potrošnji energije iz projekta EDRP (*engl. Energy Demand Research Project*) dobiveni testnim korištenjem pametnim brojila na terenu za analizu profila potrošnje energije u kućanstvima i potražnju za energetskom raznolikosti. Projekt EDRP je studija Velike Britanije o korištenju energije provedena u 61344 kućanstava, uključujući 18370 kućanstava s pametnim brojilima. Ova studija je provedena od strane četiri velike plinske i električne kompanije (EDF Energy Customers Plc, E.ON UK Plc, Scottish Power Energy Retail Ltd i SSE Energy Supply Ltd) diljem Velike Britanije od 2007. do 2010. godine i svi podaci su kasnije bili javno dostupni. Baš u ovo vrijeme provođenja studije Velika Britanija je proživjela dvije izuzetno hladne zime. Zime 2008. i 2009. godine su bile dvije najhladnije zime u zadnjih 30 godina što je pružilo savršene uvjete da bi se proučili profili potrošnje energije u sustavu i vršna potražnja tijekom dva veoma hladna perioda.

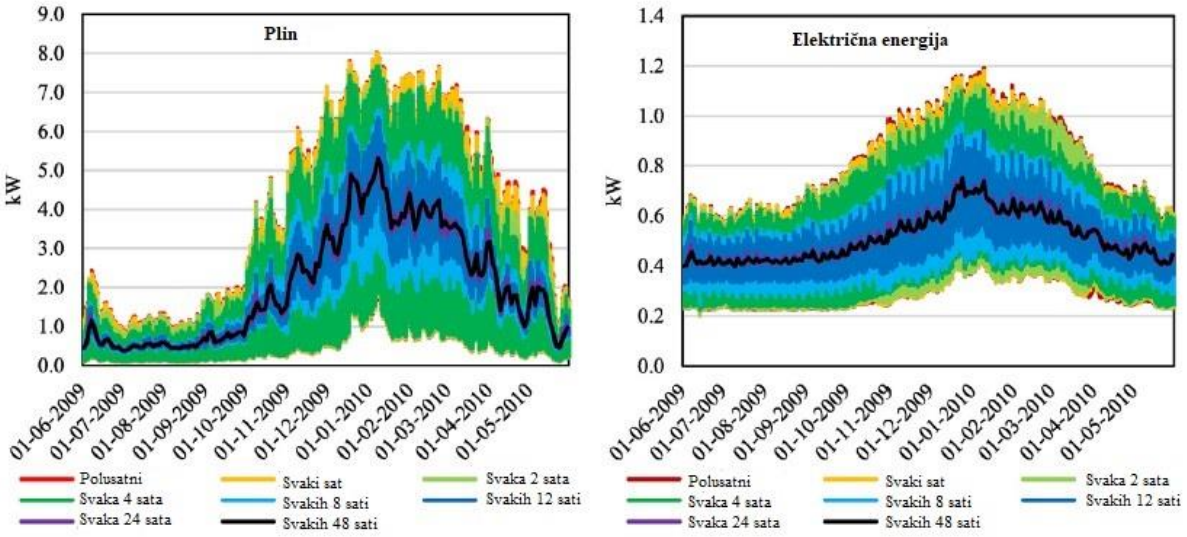
5.3 REZULTATI I ZAKLJUČCI PROJEKTA EDRP

Da bi se shvatilo kako i kada se energija troši ključno je procijeniti tehnologije nabave i dizajnirati financijski efikasne strategije da bi se dostigla energetska potražnja. U ovom potpoglavlju će se moći vidjeti način na koji se podaci pametnih brojila analiziraju i iskorištavaju u svrhu dizajniranja centralnih plinskih sustava. Kao prvo, u studiji se mogu vidjeti mjerenja i usporedbe godišnje potrošnje energije u tipičnim kućanstvima u Velikoj Britaniji korištenjem podataka pametnih brojila. Kao drugo, istražuju se sezonske i dnevne varijacije u uzorcima potrošnje plina i električne energije u kućanstvima kroz godinu dana, ocjenjuju potrošnju plinskog i elektroenergetskog sustava ovisno o vremenskim prilikama i naglašava vršnu satnu energetsku potrošnju pod izrazito hladnim vremenskim uvjetima u izvanrednim situacijama. Kao treće, zatim istražuje se efekt raznolikosti u energetskoj potrošnji kućanstava da bi se u budućnosti mogli poboljšati efikasnost centralnih plinskih sustava.

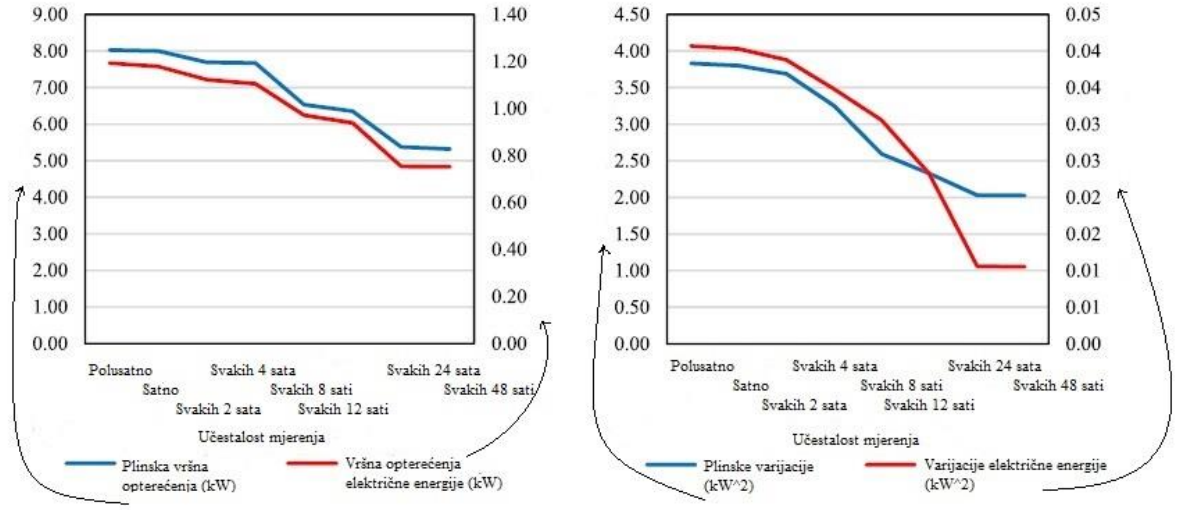
Zbog mogućnosti utjecaja na vršnu potražnju za energijom, učestalost vremenskih mjerenja u sustavu, različita mjerenja, od polusatnih do dvodnevnih mjerenja, su provedena da bi se izmjerila vršna potrošnja plina i električne energije po kućanstvu. Rezultati dobiveni za razdoblje od 01.06.2009. do 31.05.2010. su pokazali da je prosječna godišnja potrošnja plina bila 17880 kWh po kućanstvu (8466 promatranih kućanstava), što je skoro četiri puta više nego prosječna godišnja potrošnja električne energije koja je bila 4490 kWh po kućanstvu (18370 promatranih kućanstava). Slika 5-1 pokazuje različite profile potrošnje tijekom godine i promjene u vršnoj potrošnji energije i varijacije uzoraka na prosječnoj razini kada je učestalost kojom su se radila vremenska mjerenja u sustavu promijenila s polusatnih na duže vremenske intervale. Izmjerene vrijednosti se nisu drastično promijenile kada se učestalost pomakla s polusatnih na satne intervale (0,4% za vršnu potrošnju plina i 1,2% za vršnu potrošnju električne energije), ali kada se pomakla s polusatnih na dvodnevne intervale tada je došlo do drastičnih razlika vršne potrošnje (33% za vršnu potrošnju plina i 37% za vršnu potrošnju električne energije).

Slika 5-2 pokazuje da prosječna energetska potrošnja preko dužeg vremenskog razdoblja postupno smanjuje varijacije. Varijacija uzoraka je pala za 47% (plin) i 74% (električna energija) kada je interval uzimanja uzoraka porastao od polusatnih do dvodnevnih. Stoga, polusatni i satni podaci su više prilagođeni za proučavanje vršne potrošnje energije nego

podaci s dužim vremenskim intervalima. U ovom projektu su se koristili podaci o satnoj energetskoj potrošnji, zbog dostupnih podataka o vanjskoj temperaturi u tom periodu.



Slika 5-1. Profili potrošnje plina i električne energije s obzirom na intervale mjerenja za razdoblje od 01.06.2009. do 31.05.2010. (Wang et al., 2019.)



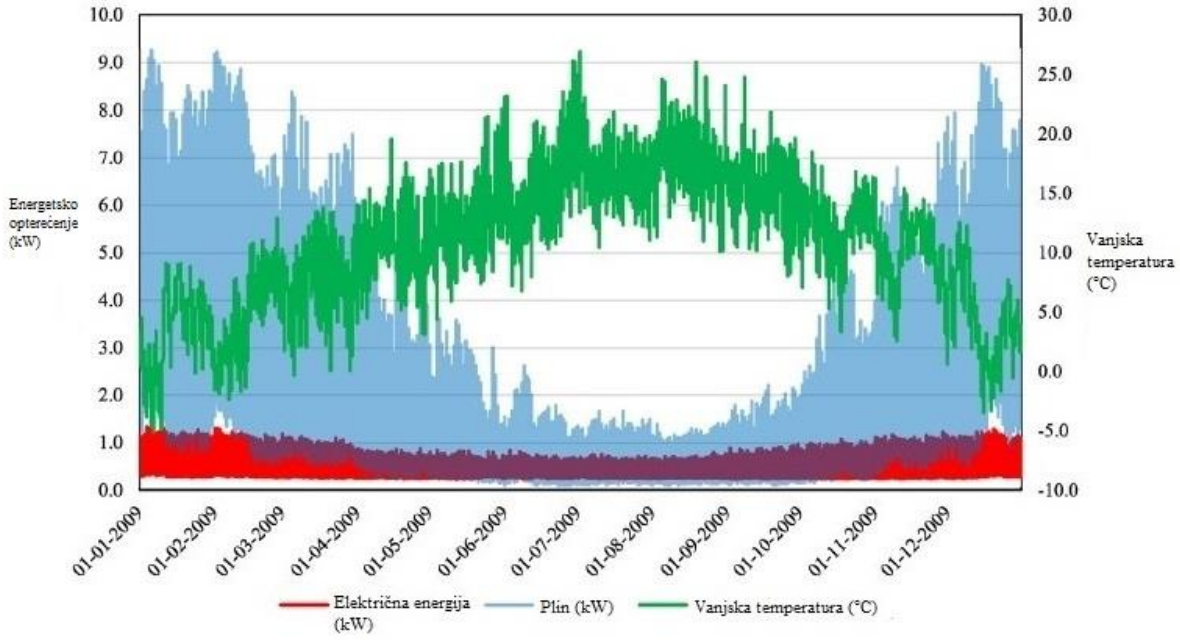
Slika 5-2. Utjecaj učestalosti mjerenja na prosječnu vršnu potrošnju plina i električne energije i varijacije (Wang et al., 2019.)

U tablici 5-1 mogu se vidjeti izmjerene vrijednosti potrošnje plina i električne energije u različitim vrstama građevina različite starosti.

Tablica 5-1. Godišnja potrošnja plina i električne energije u različitim tipovima građevina i različite starosti (Wang et al., 2019.)

Starost građevine	Prije 1919.	1919.-1944.	1945.-1964.	1965.-1980.	Poslije 1980.
Plin (kWh)	23 764	21 699	18 745	16 278	14 937
El. energija (kWh)	4821	5294	4933	4199	4417
Tip građevine	Odvojene kuće	Poluodvojene kuće	Kuće u nizu	Pansioni	Stanovi
Plin (kWh)	23 142	18 859	16 909	17 804	12 938
El. energija (kWh)	5306	5283	4089	4304	3019

Na slici 5-3 je moguće vidjeti profile satne prosječne potrošnje plina i električne energije po kućanstvima u odnosu na vanjsku temperaturu te dijagram jasno pokazuje da su izmjerena potrošnja plina i električne energije imale jasne poveznice s promjenama u vanjskoj temperaturi.



Slika 5-3. Satni profili potrošnje plina i električne energije u odnosu na vanjsku temperaturu u 2009. godini (Wang et al., 2019.)

Energetska potrošnja se mijenja u odnosu na vanjsku temperaturu kao što slika 5-3 pokazuje i rezultati projekta se slažu s prijašnjim istraživanjima i statistikama u pogledu na odnos vanjske temperature i godišnje energetske potrošnje u britanskim kućanstvima. Iako je izazov predvidjeti buduće vršne potrebe za energijom, samim proučavanjem energetske potrošnje tijekom hladnih vremenskih uvjeta iz empiričkih podataka može ponuditi potporu za razvoj energetske infrastrukture koja može garantirati energetsku sigurnost u slučaju ekstremnih vremenskih uvjeta u budućnosti.

6. UNAPRIJEĐENI (PAMETNI) CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI ZA GRIJANJE

Zbog velikog utjecaja onečišćenosti zraka na globalni okoliš nužno je smanjiti emisije štetnih plinova, a studije su pokazale da je najefektivniji način smanjenja emisija štetnih plinova upravo ušteda energije. Zbog toga se dobro razvijeni (pametni) centralni toplinski sustavi za grijanje smatraju najpraktičnijim i najodrživijim rješenjem za dostizanje potrebnih količina koje korisnici zahtijevaju od opskrbljivača i za smanjenje emisija štetnih plinova.

Glavna odlika centralnog toplinskog sustava grijanja su niži troškovi grijanja kada su cijene nafte visoke te kada klimatski i okolišni utjecaji nafte diktiraju vanjske štetne troškove u obliku nacionalnih poreza i naknada. Kada su u pitanju određene geopolitičke situacije ili blokade, ekonomske krize i slične izvanredne situacije, korisno je imati pristup centralnim toplinskim sustavima grijanja, jer oni ne ovise puno o dobavnim pravcima koji u takvim situacijama mogu doći u pitanje te povisiti cijene povezanih energenata. Centralni toplinski sustav za grijanje koristi lokalne izvore toplinskog otpada i na taj način grije predviđene prostore te značajno manje oštećuje okoliš kao nafta i slični energenti te zbog toga posljedično imaju i manje nacionalne poreze i naknade.

Centralni toplinski sustav za grijanje pridonosi centraliziranoj proizvodnji topline i njen prijenos do krajnjih korisnika. Danas su, centralni toplinski sustavi za grijanje implementirani u raznim državama, ali postoje velike razlike u njihovoj veličini i značaju. Neki od centralnih toplinskih sustava za grijanje koji se pojavljuju se u svijetu su u gradovima kao što su: Moskva, Sankt-Peterburg, Peking, New York, Seoul, Berlin, Hamburg, Helsinki, Stockholm, Kopenhagen, Paris, Prag, Zagreb itd.

Tablica 6-1. Razvoj centralnih toplinskih sustava za grijanje u nekim državama EU-a (Sarbu et al., 2019.)

Broj	Država	Količina usluženih građana, %	Duljina cjevovoda, km	Grijana površina, 10^6 m^2	Kapacitet grijanja, MW	Kapacitet hlađenja, MW
1	Austrija	21	4376	57	9500	35
2	Danska	61	30288	/		
3	Francuska	7	3644	/	16293	668
4	Njemačka	12	20151	438	49931	161
5	Italija	5	2951	96	2556	
6	Poljska	5	19286	472	59700	
7	Rumunjska	24	8973	500	9962	
8	Švedska	42	21100	678	15000	650

Centralni toplinski sustav za grijanje transportira toplinu od centralnog postrojenja do rezidencijalnih, komercijalnih i industrijskih korisnika za korištenje u grijanja prostora, proizvodnji tople vode u kućanstvima (DHW - *engl. domestic hot water*), i/ili procesu grijanja. Toplina se prenosi i distribuira kroz parovode i toplovode te ona dolazi od samog vrućeg fluida bez da se toplina proizvede u svakom postrojenju.

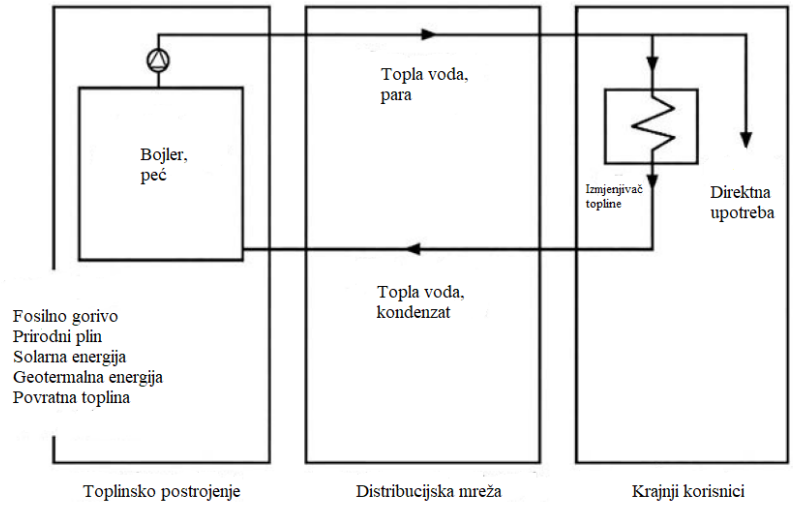
Osnovna ideja iza termina centralni toplinski sustav za grijanje je u korištenju lokalnih izvora topline i toplinskog otpada radi zadovoljavanja lokalnih potreba za toplinom. Tradicionalni izvori topline su različiti tipovi postrojenja, od industrijskih postrojenja do postrojenja koji ili pretvaraju otpad u toplinu ili kombiniraju toplinu i snagu. Ipak, u razdoblju od 2010. do danas, u centralnim toplinskim sustavima za grijanje je uveden visok udio obnovljive topline koji dolazi od biomase, geotermalnih izvora i solarnih kolektora. Pametni energetski sustav je energetski sustav budućnosti koji se suočava s izazovima integriranja centralnih toplinskih sustava za grijanje s električnim sektorom i transportnim sektorom. Pametni energetski sustavi su također sposobni integrirati centralne toplinske sustave za hlađenje. Takav sustav budućnosti bit će sastavljen od pametnog centralnog toplinskog sustava za grijanje, mreže

električne energije i distribucijskih plinskih mreža koje će koordinirano raditi na postizanju optimalnog rješenja za svaki sektor i sveukupni energetski sustav (Dominiković et al., 2020.).

Europska Unija je došla do zaključka da bi 50% toplinskih potreba trebalo biti do 2050 zadovoljeno preko mreža centralnih toplinskih sustav za grijanje (Sarbu et al., 2019.). DH (*engl. district heating*) mreža je ključni dio svih centralnih toplinskih sustava za grijanje, i njezin investicijski trošak je ili jednak ili veći od 50% cijelog kapitalnog troška cijelog centralnog toplinskog sustava za grijanje. Smanjenje troškova i potrošnje energije DH mreže može biti postignuto kroz njezin dizajn i optimizaciju operacija.

6.1. STRUKTURA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA ZA GRIJANJE

Centralni toplinski sustav za grijanje se sastoji od tri primarne komponente: postrojenja za proizvodnju topline, distribucijske mreže i sustava krajnjih korisnika. Dizajn centralnog toplinskog sustava za grijanje zahtijeva uzimanje u obzir pozicije izvora topline, tipa krajnjih korisnika (komercijalni ili industrijski), toplinske potrošnje u različitim operacijskim modulima i mogućnost konfiguracije rute.



Slika 6-1. Glavne komponente centralnog toplinskog sustava za grijanje (Sarbu et al., 2019.)

6.1.1. Postrojenje za proizvodnju topline

U centralnom toplinskom sustavu za grijanje, dobavljači topline moraju kontinuirano osiguravati usluge krajnjih korisnika. Kao što toplinske potrebe krajnjih korisnika variraju

značajno, tako i proizvodnja treba reagirati na toplinske potrebe. Generalno, izvori topline u toplinskom postrojenju se kategoriziraju kao trajni (proizvodnja topline kontinuirano prelazi potrebe toplinske mreže) i povremeni (proizvodnja topline varira tijekom vremena).

Većina centralnih toplinskih sustava za grijanje ima više energetskih izvora kao što su ugljen ili prirodni plin i otpad iz toplinske energije dok drugi sustavi druge energetske izvore kao što je solarna energija. Toplinsko postrojenje može biti bazirano na klasičnom kotlu ili peći, geotermalnoj ili solarnoj energiji, toplinskoj pumpi, ili toplini dobivenoj kao nusproizvod proizvodnje električne energije, što se naziva kogeneracijom.

Dobro je poznato da se otpadi od biomasa većinom koriste za kogeneraciju jer predstavljaju održivi izvor zelene energije. Stoga, postrojenje za kogeneraciju spaljivanjem fosilnih goriva i biomase zadovoljava potrebe za električnom energijom zajedno s energijom potrebnom za zadovoljavanje toplinskih potreba korisnika. Stoga, kogeneracija se smatra jednim od tehničkih rješenja za maksimiziranje energetske efikasnosti, a njezine glavne tehnologije kogeneracije su: parne turbine, plinske turbine, motori s unutarnjim izgaranjem itd.

Jednostavno toplinsko postrojenje može imati efikasnost od 20% do 30%, dok postrojenje za kogeneraciju može postignuti efikasnost energije od skoro 90% jer idu na vrlo nisku temperaturu, ispod 60°C koja je granica kondenzacije pri 1 bar. U slučaju razdvajanja ta dva načina proizvodnje energije, ukupna efikasnost energije ne prelazi 57%. Pored toga, značajna prednost tog tipa proizvodnje energije je u bitnom smanjenju emisija ugljika i emisija toplinskog otpada. Istraživači iz Nizozemske, Klaassen i Patel (2013.), su kroz svoju istraživačku studiju pokazali da je centralni toplinski sustav za grijanje s postrojenjem za proizvodnju topline iz prirodnog plina energetski efikasniji nego klasični sustav s bojlerom na plinsku kondenzaciju.

Viškovi topline iz industrije mogu se ponovo upotrijebiti u centralnom toplinskom sustavu grijanja. U istraživanju, Fang et al. (2015.),prikazano je da su industrijski viškovi topline većinom ovisni o proizvodnji i njenim usko vezanim procesima zbog čega su često u nestabilnom stanju i pri temperaturama manjim od 200°C.

Integracija obnovljivih izvora energije u centralne toplinske sustave grijanja može dovesti do nižih izlaznih temperatura, koje su niže od većine dobavnih temperatura DH mreža. Stoga, geotermalni centralni toplinski sustavi za grijanje su dobili više pažnje zadnjih godina u mnoštvu država jer taj oblik pruža održivu zamjenu fosilnih goriva i stvara minimalne,

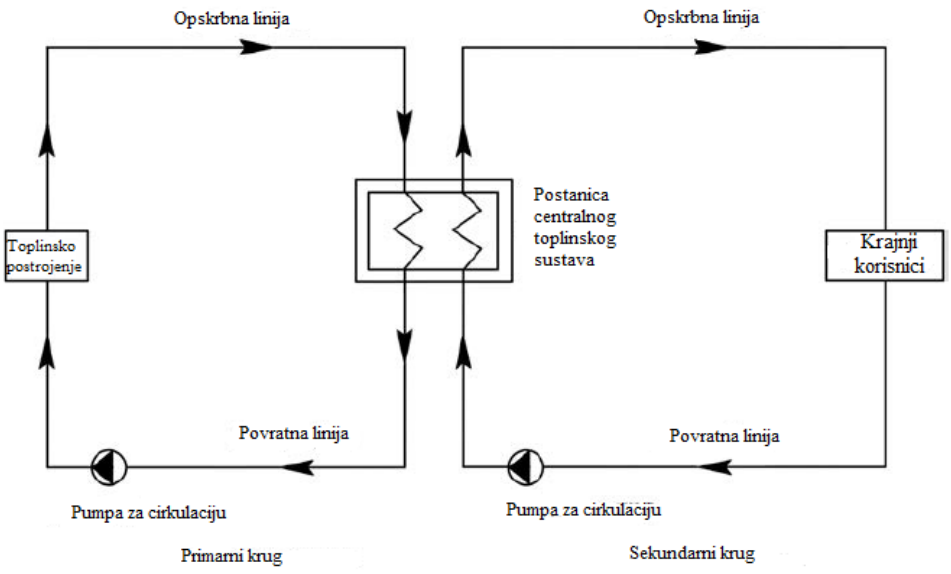
zanemarive emisije CO_2, SO_X i NO_X. Mnogi uspješni projekti ovog tipa su korišteni u Švedskoj, Njemačkoj, Italiji, Ujedinjenom Kraljevstvu, Belgiji itd.

Kogeneracija, geotermalna energija i biomasa se smatraju trajnim izvorima, dok se energije vjetra i Sunca, s visokim stopama fluktuacije, smatraju povremenim izvorima.

6.1.2. Distribucijska mreža

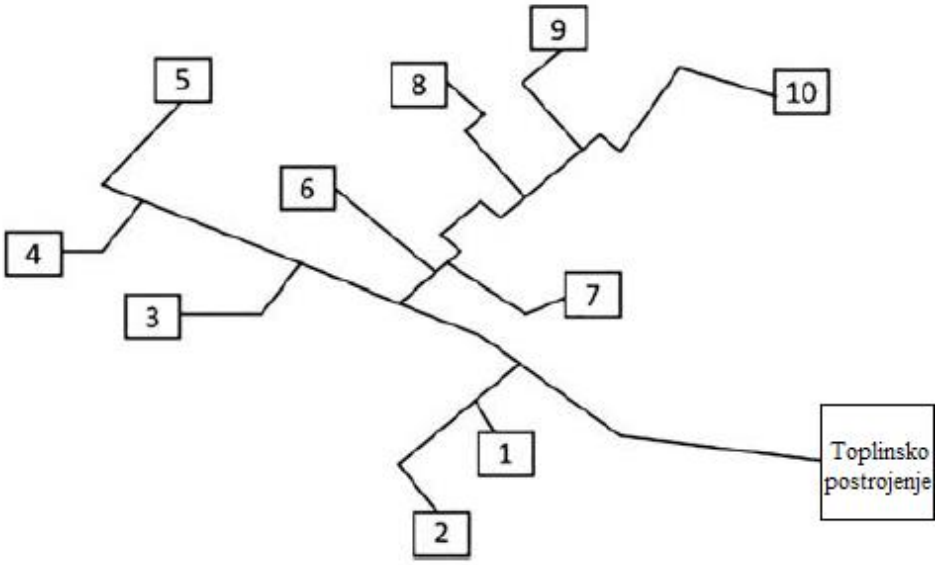
DH mreža prenosi toplinsku energiju od toplinskih postrojenja do korisnika i njezine glavne komponente su: cijevi, ventili, izmjenjivači topline, pumpe, ventilatori i automatizirani uređaji. Distributivna mreža se sastoji od kombinacije prethodno izoliranih i terenski izoliranih cijevi kroz koje prolazi vrući fluid (para ili vruća voda) i zatim se distribuira korisnicima, gdje se njegova toplina prenosi do toplinskog izmjenjivača. Fluid se zatim ohladi i vraća do toplinskog postrojenja gdje se opet zagrijava da bi se ciklus opet mogao ponoviti. Iz razloga što su početni troškovi DH mreža visoki, velika važnost se pridaje optimizaciji njihova rada.

Shematski dijagram centralnog toplinskog sustava za grijanje je prikazan na slici 6-2. U primarnom krugu, vruća voda dolazi do podstanice centralnog toplinskog sustava kroz primarnu distributivnu mrežu i zatim se vraća do izvora topline. U sekundarnom krugu, voda dobiva toplinu od vrućeg fluida u primarnom krugu kroz toplinske izmjenjivače i zatim se toplina prenosi od vode do prostorija preko radijatora.



Slika 6-2. Shematski dijagram centralnog toplinskog sustava za grijanje (Sarbu et al., 2019.)

Distribucijska mreža može biti podijeljena u dva odvojena dijela: opskrbna linija i povratna linija. Opskrbna linija, koja uključuje broj cijevi koje dostavljaju vrući fluid od toplinskog postrojenja do korisnika. Povratna linija uključuje cijevi koje prevoze ohlađeni fluid od potrošača nazad do toplinskog postrojenja. Ove cijevi su uglavnom složene u paru (opskrbna i povratna cijev) i istih fizičkih i geometrijskih svojstava. Kao posljedica, topološki prikaz distributivne mreže može se prikazati samo preko opskrbne linije, kao što je prikazano na slici 6-3.



Slika 6-3. Topološki prikaz distributivne mreže (Sarbu et al., 2019.)

Općenito, postoje 4 različite generacije distributivnih mreža toplinom. Prva generacija DH mreža su koristile paru pri temperaturama višim od 200°C u betonskim cijevima te stoga nisu bile baš visoke efikasnosti i bile su zamijenjene zbog rizika od eksplozija cijevi. Ipak, para se i dalje koristi kao nositelj topline u sustavu grijanja na Manhattanu u New Yorku i kao centralni sustav u Parizu. Ova dva sustava su i dalje korisna jer ta urbana područja imaju visoku stopu gustoće naseljenosti, relativno kratke cijevi i niske distributivne troškove. Druga generacija DH mreža je uvedena u 1920.-tim godinama, kada su njemački inženjeri identificirali vodu kao efikasniji nosač topline od pare. Ova generacija DH mreža su koristile stlačenu vodu pri temperaturama višim od 100°C u betonskim cijevima i zbog toga se ova generacija također naziva visoko temperaturnom (HT - *engl. high temperature*) distributivnom mrežom. Ova tehnologija se smatrala do 1970.-tih najboljom, kada su danski, švedski i finski inženjeri proširili korištenje centralnog toplinskog sustava što je dovelo do treće generacije. Treća generacija DH mreža koristi prethodno izolirane cijevi, koje su

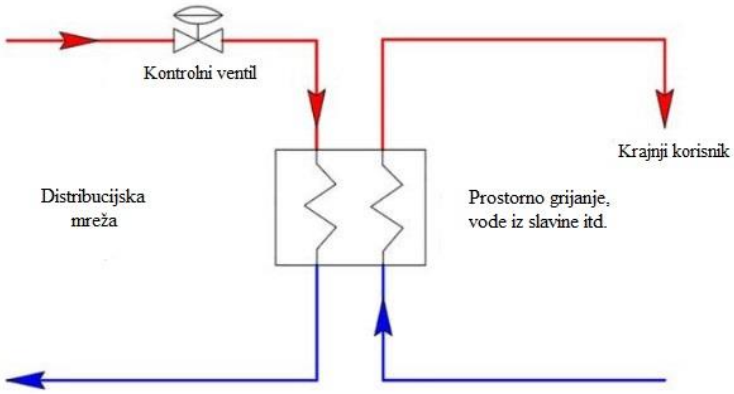
ukopane u tlo i funkcioniraju s vodom pri srednjim opskrbnim temperaturama (65°C - 95°C). Ove tri generacije su bazirane na korištenju fosilnih goriva i zgradama koje imaju velike toplinske potrebe. Postepena tranzicija u novi energetski sustav s manjim emisijama ugljikova dioksida dovodi do potrebe za novom, poboljšanom tehnološkom generacijom centralnog toplinskog sustava. Ovaj novi sustav će imati više dobavnih pravaca i više različitih izvora obnovljive energije te manje termalnih elektrana, a zgrade korisnika s manjim toplinskim potrebama. Najnovija, četvrta generacija DH mreža je u razvoju i često se naziva niskotemperaturnom (50°C - 60°C) distributivnom mrežom. Iznimno niske opskrbne temperature (35°C - 45°C) se također koriste, a njihove temperature se kod krajnjih korisnika podižu korištenjem toplinskih pumpi (Werner, 2017.). Danska je rano krenula s razvojnim projektom koji se zove „Danish 4DH project" s ciljem što bržeg i efikasnijeg razvoja četvrte generacije DH mreža. Ovaj projekt je osnovan radi poboljšanja energetske efikasnosti, fleksibilnosti i integracije svih izvora obnovljive energije i otpadne topline. Stoga u sustavima četvrte generacije stvaraju se sinergije između energetskih mreža, integracije proizvodnje i sustava te planiranja i implementacije. Veća energetska efikasnost ide ruku uz ruku s nižim i više fleksibilnim distributivnim temperaturama jer dopuštaju četvrtu generaciju da efikasno koristi izvore obnovljive energije, dok i dalje ispunjavaju zahtjeve zgrada s manjim energetskim potrebama i mjere očuvanja energije u postojećim zgradama. Tablica 6-2 prikazuje različite tipove DH mreža s obzirom na tehničke zahtjeve zgrada i u skladu s prijašnjim definicijama.

Tablica 6-2. Različiti tipovi DH mreža (Sarbu et al., 2019.)

Tip DH mreže	**Opskrbna temperatura, °C**	**Tehnička ograničenja**
Visoka temperatura	100-115	Potreba za korištenjem stlačenih spremnika, koji mogu biti direktno povezani s sustavom
Srednja temperatura	65-95	Minimalna temperatura u procesu za vodu u spremniku je 65°C
Niska temperatura	50-60	Minimalna sigurna temperatura u procesu za vodu je 50°C
Iznimno niska temperatura	35-45	Minimalna temperatura grijanja poda je 35°C

6.1.3. Sustav krajnjih korisnika

U sustav krajnjih korisnika spada HVAC oprema (*engl. Heating, ventilation, and air conditioning*), oprema koju ima svaka građevina. Toplina koja se proizvode na toplinskom postrojenju se prenosi sustavom izoliranih cijevi do krajnjih korisnika. Tada tu toplu vodu ili direktno iskorištava HVAC oprema ili se indirektno kroz izmjenjivač topline prenosi toplina od jednog do drugog medija, kao što je prikazano na slici 6-4. Količina prenesene topline se kontrolira ventilom koji određuje količinu otpuštene mase u toplinskom izmjenjivaču radi osiguranja zadane temperature kod krajnjeg korisnika.



Slika 6-4. Poveznica između korisnika i distribucijske mreže topline (Sarbu et al., 2019.)

6.2. CILJEVI CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA GRIJANJA

Podaci pametnih brojila omogućuju osnovu za visoku energetsku efikasnost pružanjem transparentnosti i znanja baziranog iz podataka za stvaranje kvalitetnih centralnih toplinskih sustava grijanja.

Prednosti centralnih toplinskih sustava grijanja uključuju:

- veću efikasnost nego individualni bojler, kao i umanjen utjecaj na okoliš,
- fleksibilnost i ekološku prihvatljivost jer omogućuje svojim opskrbljivačima iskorištavanje otpadne topline u druge svrhe i što efikasnije integriranje izvora obnovljive energije kao što su vjetar i sunce,
- mogućnost korištenja svih goriva, što omogućuje gorivnu fleksibilnost i sigurnu dobavu energije,

- jednostavnost i sigurnost za korisnike jer zahtijeva minimum održavanja i ograničene tehničke vještine.

Na europskom nivou centralni toplinski sustavi se smatraju postojećom i pouzdanom tehnologijom s visokim potencijalom za potporu EU ciljeva u energetskom sektoru, uključujući dekarbonizaciju. Na primjer, otpadna toplina od pretvorbe energije se mora negdje otpremiti gdje je potreba za njom, što je poanta centralnih toplinskih sustava. Danas, centralni toplinski sustavi obuhvaćaju jedva 10 % ukupne europske energetske potrošnje za prostornim grijanjem, ali su studije pokazale da je realno da će se taj broj povećati za 50 % do 2050. Procijenjeno je da bi se korištenjem centralnih toplinskih sustava, otpadna toplina svih elektrana i industrije u Europi mogla pokriti kompletne europske energetske potrebe.

Danska je jedna od prvih nacija koja je počela koristiti centralne toplinske sustave, što se smatra temeljem danske opskrbe energijom. Uspjeh centralnih toplinskih sustava u Danskoj je rezultat kombinacije želje za energetskom promjenom od temelja, snažnog političkog fokusa i dugotrajnog planiranja u energetski sektor. Iako se centralni toplinski sustavi već smatraju veoma dokazanim konceptom i tehnologijom, oni se i dalje razvijaju (Kamstrup, 2020.). Podaci o danskom centralnim toplinskim sustavima:

- otprilike 430 postrojenja centralnih toplinskih sustava i 31 000 km cijevi,
- 63 % danskih kućanstava, što daje broj 3.2 milijuna Danaca, je povezano na centralne toplinske sustave,
- 98 % Kopenhagena je pokriveno centralnim toplinskim sustavima,
- otprilike 10 000 ljudi radi u ovoj industriji (Lauersen, 2019.)

Ovakvim primjerom, treba naglasit da je Danska nažalost samo izuzetak, a ne europski prosjek.

Centralni toplinski sustavi grijanja u RH obuhvaćaju samo 10% ukupne opskrbe toplinom. Postoji 13 kompanija iz 19 gradova koje se bave centralnim toplinskim sustavima grijanja, uključujući i glavnu kompaniju za centralne toplinske sustave grijanja koje se zove HEP-Toplinarstvo, koja je podružnica državne, nacionalne kompanije za električnu energiju HEP. Trenutni sustavi centralnog toplinskog grijanja u RH većinom spadaju u drugu generaciju centralnih toplinskih sustava grijanja, koji koriste toplu vodu s dobavnim temperaturama preko 100°C.

U usporedbi s Danskom moguće je vidjeti da Republika Hrvatska ima drastično manje brojeve vezane uz centralne toplinske sustave grijanja. Samo 436 km cijevi u ovom sustavu te samo 436 tisuća Hrvata je spojeno na centralne toplinske sustave što dovodi ukupnog instaliranog kapaciteta centralnih toplinskih sustava grijanja u RH od 2221 MWth (Maras, 2019.).

Centralne toplinske sustave se može smatrati temeljem istinski integriranog energetskog sustava, gdje se opskrba prilagođava promjenama proizvodnje baziranoj na obnovljivoj energiji i otpadnoj toplini, ali će se za to trebati puno veća fleksibilnost nego što je to trenutno moguće.

Efikasnost nije samo ključ postizanja tranzicije na održivo grijanje i hlađenje već je ključno da bi centralni toplinski sustav ostao kompetitivan i atraktivan krajnjim korisnicima. U državama koje tradicionalno koriste centralne toplinske sustave, prihodi prodaje energije po krajnjem korisniku će pasti za 1 do 1,5 % po godini zbog energetskih popravaka i sveukupnog smanjenja energetske potrošnje. Također, energetska tranzicija uključuje značajne troškove što zahtijeva korištenje energetski efikasne opskrbe toplinom temeljenoj primarno na obnovljivim izvorima energije i otpadnom toplinom. Centralni toplinski sustavi grijanja su suočeni s ogromnim izazovom da ostanu kompetitivni s konkurencijom, kao što su individualne toplinske pumpe i geotermalna toplina jer one na prvu ruku izgledaju kao pametan izbor korisnicima s kućama manje energetske potrošnje. Zbog toga nužan je konstantan fokus opskrbljivača centralnih toplinskih sustava grijanja na kontinuirano poboljšanje efikasnosti što će im omogućiti smanjenje operativnih troškova, a i istovremeno omogućavanje prilika za dodatni rast zbog raznolike ponude.

Dovođenje sustava do maksimuma efikasnosti i proizvodnje do krajnjih mogućnosti zahtijeva opskrbljivače centralnih toplinskih sustava grijanja kontinuirani rad na optimizaciji kompletnog sustava. Da bi to postigli, moraju znati što se točno događa u mreži, posebno na kritičnim mjestima, u svakom trenutku, a da bi ti bilo moguće potrebno je imati redovit pristup podacima dobivenih od pametnih brojila. Pametna brojila energije daju opskrbljivačima centralnih toplinskih sustava detaljan prikaz stvarnog stanja u distribucijskoj mreži kroz precizne informacije o protocima, temperaturama i tlaku što će strateški pomoći poboljšanju kritičnih točaka sustava, ali i sustava u globalu. Ovo omogućuje opskrbljivačima početak rada na instalacijama koje postavljaju najveće naprezanje na mreži(npr. visoke

povratne temperature ili visoke prosječne količine) što dovodi do značajnih ušteda energije za njih ali i za krajnje korisnike.

Neka od najznačajnijih zona primjena, u sklopu poboljšanja energetske efikasnosti su (Moustakidis et al., 2019.):

- identifikacija neispravnih ili pogrešno prilagođenih toplinskih podstanica,
- praćenje temperaturnih razina u distribucijskoj mreži,
- identifikacija gubitaka topline i vode u distribucijskoj mreži,
- modeliranje zgrada baziranih na stvarnom odazivu topline i osnovnim vremenskim informacijama,
- detekcija istjecanja,
- oblikovanje vršnih potreba sustava da bi se bolje iskoristila postojeća infrastruktura.

Uključivanje krajnjih korisnika u jednadžbu sustava je ključno za balansiranje opskrbe i potražnje na energetski efikasan način. Tehnologija pametnih brojila dozvoljava opskrbljivačima centralnih toplinskih sustava grijanja ciljanje lošeg ponašanja korisnika i omogućuje potrošačima aktivno sudjelovanje u postizanju održive energetske budućnosti.

6.3. ČETVRTA GENERACIJA CENTRALNIH TOPLINSKIH SUSTAVA

Za razliku od prve tri generacije, razvoj četvrte generacije uključuje izazov razvoja visoko energetski zgrada kao i izazov biti integrirani dio rada pametnih energetskih sustava, kao što su pametna električna energija, pametni plin i toplinske mreže.

4GDH (*engl. 4GDH - 4th Generation District Heating*) sustav možemo definirati kao tehnološki i institucionalni koncept, koji uz pomoć pametnih toplinskih mreža pomaže u razvoju održivih energetskih sustava. 4GDH sustavi dostavljaju toplinu u niskoenergetske zgrade s niskim mrežnim gubitcima na način da integriraju upotrebu niskotemperaturnih toplinskih izvora u djelovanje pametnih energetskih sustava.

Nedavne studije su pokazale značaj centralnih toplinskih sustava grijanja, ali se njihove tehnologije još moraju bolje razviti da bi se smanjili gubitci u mreži, iskoristile sinergije i posljedično povećati efikasnosti nisko-temperaturnih proizvodnih jedinica u sustavu. Obnovljiva energija, zajedno s očuvanjem energija i kogeneracijskom proizvodnjom, je bitan čimbenik u odgovoru na klimatske promjene u Europi kao i u mnogim drugim regijama. Konkurentnost centralnih toplinskih sustava grijanja proizlazi iz kombinacije uvjeta za

opskrbu toplinom i distribuciju topline. Jedan važan uvjet za distribuciju topline je da se zahtjevi za toplinom moraju koncentrirati kako bi se minimizirali troškovi distribucije i gubitci topline. Niska gustoća topline u rijetko naseljenim područjima dovodi do relativno viših distributivnih troškova i gubitaka. Činjenica je da su glavni gradovi u središnjoj Europi dovoljno gusto naseljeni da mogu podnijeti značajno smanjenje potreba za toplinom korisnika bez gubitka ukupne konkurentnosti centralnih toplinskih sustava grijanja.

Da bi centralni toplinski sustavi grijanja mogli ispuniti svoju ulogu u budućim održivim energetskim sustavima, oni se moraju suočiti s sljedećim izazovima (Lund et al., 2014.):

- sposobnost upravljanja postojećih, obnovljenih i novih zgrada s nisko temperaturnim centralnim toplinskih sustavima grijanja za prostorno grijanje i toplu vodu u kućanstvu (DHW - engl. Domestic hot water),
- sposobnost distribucije topline u mrežama s malim mrežnim gubitcima,
- sposobnost ponovnog korištenja topline iz nisko temperaturnih izvora i integriranja obnovljivih izvora topline kao što su sunce i geotermalna toplina,
- sposobnost da budu integrirani dio pametnih energetskih sustava (integrirana pametna električna energija, plin, fluid i toplinske mreže) uključujući biti dio četvrte generacije centralnih toplinskih sustava hlađenja,
- sposobnost da osiguraju prikladno planiranje, troškove i motivacijske strukture u odnosu na proces kao i strateška ulaganja povezana s transformacijom u buduće održive energetske sustave kao što je prikazano na slici 6-5.



Slika 6-5. Ključni elementi koncepta četvrte generacije centralnih toplinskih sustava grijanja (Lund et al., 2018.)

6.3.1. Sposobnost opskrbe niskotemperaturnog centralnog toplinskog sustava grijanja za prostorno grijanje i sposobnost opskrbe tople vode u kućanstvima

U većini država zgrade čine značajan dio opskrbe energijom. Stoga, razvoj održivih zgrada odigrava značajnu ulogu u transformaciji nacionalnih energetskih sustava ciljajući na umanjenje uporabe fosilnih goriva i emisija CO_2.

Moguće je smanjiti ukupnu upotrebu energije za prostorno grijanje novih zgrada na nivo jednak korištenju energije za grijanje toplom vodom u kućanstvima što dovodi do ravnoteže između potrebne energije ljeti i zimi. Ovim načinom ukupna upotreba energije može se, pošto je zadržana na niskoj razini, podmiriti recikliranjem topline ili obnovljivih izvora energije pri nižim troškovima. Smanjenje toplinskih potreba postojećih zgrada može se postići uz pomoć centralnih toplinskih sustava grijanja na sljedeća dva načina:

- kapacitet mreže centralnih toplinskih sustava grijanja i proizvodnih jedinica dozvoljava većem broju zgrada povezivanje na istu mrežu,
- izolacija postojećih zgrada dovodi do manjim dovodnih temperatura i manjih gubitaka mreže te povećava mogućnosti reciklaže topline i efikasnosti proizvodnih jedinica.

Promjene u traženim temperaturama mogu se još bolje poboljšati uvođenjem sustava grijanja koji mogu koristiti dovodnu temperaturu od 40 °C. Podno grijanje ili zidno grijanje s prosječnom temperaturom vode nekoliko °C višom od sobne temperature je realna mogućnost.

Optimalno korištenje zgrada i centralnog toplinskog sustava grijanja može se postići pametnim upravljanjem sustava grijanja zgrada. Pametna kontrola koristi vremenske prognoze da bi se izračunalo potrebno zagrijavanje svake prostorije i te informacije se koriste za upravljanje sustava grijanja. To je posebno relevantno za instalacije podnog grijanja, gdje se može poboljšati zatvoreno okruženje s pomoć informacija dobivenih iz vremenskih prognoza.

6.3.2. Sposobnost distribucije topline u mrežama s malim mrežnim gubitcima

Fokus toplinskih mreža je na smanjenju troškova i gubitaka topline u mreži poboljšanjem komponenti i stvaranjem sinergije što dovodi do smanjenja potražnje zgrada za toplinom za grijanje. Ovo vodi do boljeg iskorištavanja nisko temperaturne obnovljive topline i povećava efikasnost kogeneracije i toplinskih pumpi velikog opsega.

Buduće mreže će koristiti nisko temperaturne distribucijske mreže s normalnim distribucijskim temperaturama od 50 °C (dovodna cijev) i 20 °C (povratna cijev) kao godišnjim prosjecima. Ovo će dvostruko smanjiti trenutne razlike temperature između prosječne temperature vode i tla u trenutnim centralnim toplinskim sustavima treće generacije.

Smanjenjem vršne brzine protoka u distribucijskoj mreži, možemo smanjiti dimenzije cijevi. Korištenjem niskih temperature i manjih cijevi (manje dvojne cijevi umjesto jedne veće cijevi), moguće je četverostruko smanjiti gubitke topline u distribuciji ako uspoređujemo s trenutnim postojećim sustavima. Upotreba manjih cijevi povećava tlačne zahtjeve ali se to može riješiti korištenjem lokalnih pumpi u mreži ili zgradama. Korištenjem dvojnih cijevi s dovodnom cijevi u sredini i povratnom cijevi može se smanjiti gubitak topline i eliminirati razmjena topline između dovodnih i povratnih cijevi. Izolacijski materijali se mogu poboljšati dodavanjem tvari za zamućivanje što će smanjiti prijenos topline što je posljedica toplinske radijacije.

6.3.3. Sposobnost korištenja obnovljive i otpadne topline iz nisko temperaturnih izvora

Toplina nastala iz spaljivanja otpada je veoma korisna za centralne toplinske sustave grijanja jer se može koristiti tijekom cijele godine. Ipak, prioritet se mora dati recikliranju i stoga otpadni toplinski resursi su limitirani i moraju se optimalno iskoristiti. Centralni toplinski sustav grijanja također može koristiti otpad iz industrije i komercijalnih zgrada.

U velikom dijelu Europe u tlu je dostupna upotrebljiva geotermalna toplina. Razina temperature i dostupnost poroznih slojeva vodom određuju količinu korisne geotermalne topline, ali izuzetno niske dovodne temperature centralnih toplinskih sustava grijanja dovode do toga da je ipak lakše izgraditi geotermalna postrojenja za korištenje u centralnim toplinskim sustavima grijanja.

Također, mogu se koristiti sustavi grijanja na temelju Sunca za dopunjavanje centralnih toplinskih sustava grijanja. Solarni paneli pozicionirani na tlu se postavljaju na rubu gradova i spojeni su na glavne distributivne linije centralnih toplinskih sustava grijanja.

6.3.4. Sposobnost da budu dio pametnih energetskih sustava

Sustavi moraju biti dizajnirani na taj način da su u mogućnosti podnijeti promjenjivu i isprekidanu prirodu obnovljivih izvora energije, posebno naglasak na opskrbu električnom

energijom. Takav redizajn budućih sustava opskrbom električne energije se odnedavno definira kao „pametna mreža“ (*engl. smart grid*).

Toplinske pumpe, i po mogućnosti dodatni skladišni toplinski kapaciteti mogu biti nadodani kogeneracijskim stanicama na način da budući obnovljivi izvori energije mogu biti efikasno integrirani. Takve mjere će omogućiti integraciju do skoro 40 % promjenjivih obnovljivih izvora energije u lanac opskrbe električnom energijom bez utjecaja na ukupnu efikasnost sustava.

6.3.5. Uloga četvrte generacije centralnih toplinskih sustava grijanja u nacionalnim energetskim sustavima

Analize energetskih sustava u Europi (ponajviše Danske) i u Aziji (Kina) pokazuju veliki potencijal za postizanje ušteda energije i poboljšavanje integracije obnovljivih izvora energije. U studiji „Heat Roadmap Europe“ (Connolly et al., 2013.) opisana je strategija centralnih toplinskih sustava grijanja u kojoj su toplinske pumpe centralnih toplinskih sustava grijanja i individualne toplinske pumpe kombinirane s toplinskim uštedama od 50 %. Ova strategija je uspjela postići jednaku potrošnju fosilnih goriva i biomase kao i scenarij energetske efikasnosti Europske Komisije koji je većinski temeljen na električnoj energiji, ali pri 15 % manjim troškovima.

Također, analize kineskog energetskog sustava su pokazale da bi centralni toplinski sustavi grijanja mogli stvoriti smanjenje od 60% energetske potrošnje inače glavnih izvora topline za grijanje zgrada u Kini (plin, drveni ugljen itd.) pri 15 % manjim ukupnim troškovima (uključujući i investicijske troškove). Za Dansku, analize pokazuju da se proizvodnja topline iz bojlera prirodnog plina može većinom zamijeniti s centralnim toplinskim sustavima grijanja baziranima na viškovima topline od proizvodnje transportnih goriva i od industrije u kombinaciji s korištenjem toplinskih pumpi velikog dometa. Za individualne kuće izvan dosega centralnog toplinskog sustava grijanja, gdje je moguće mogu se koristiti individualne toplinske pumpe i mali udio biomasnih bojlera u kombinaciji s malim solarno toplinskim udjelom. Ovo, zajedno s uštedama topline od 40 %, mogu rezultirati u manjim troškovima sustava i pružiti bolju integraciju toplinskog, električkog i transportnog sektora.

7. ZAKLJUČAK

Pametna brojila omogućuju trenutno očitanje i snimanje velikih količina signala, od otkrivanja kvara do kontrole kvalitete napajanja, za svrhe naplate ili provođenja procesa. Uvođenje pametnih brojila može donijeti brojne koristi svim sudionicima na tržištu. Koristi za potrošače su obračun potrošnje energenata na temelju stvarnog očitanja, mogućnost smanjenja iznosa računa na temelju stvarnog očitanja, omogućavanje dinamičnog tarifiranja, očitanje bez ometanja kupca. Koristi za distributere su mogućnost indikacije neovlaštenog pristupa brojilu, smanjenje troškova očitanja, nadzor parametara distribucijske mreže itd. Koristi za opskrbljivače su smanjenje dugovanja kupaca, manji broj prigovora na obračun i niz drugih povezanih koristi.

Ovim diplomskim radom istražene su komunikacijske tehnologije i protokoli za primjenu kod pametnih brojila. Pametna brojila imaju značajan potencijal razvoja u centralnim toplinskim sustavima grijanja. To je nužno da bi se mogle pružiti povratne informacije iskorištenosti energije korisnicima i da bi pametna brojila mogla komunicirati s upravljačkim sustavom zgrada, u slučaju problema oko održavanja, upravljanja energijom i sigurnosti.

Razne studije su pokazale da je najučinkovitiji način smanjenja emisija štetnih plinova upravo ušteda energije, a upravo zbog toga se dobro razvijeni centralni toplinski sustavi za grijanje smatraju najpraktičnijim i najodrživijim rješenjem za postizanjem ušteda energije i smanjenjem emisija štetnih plinova.

Konačno, u ovom radu budućnošću centralnih toplinskih sustava grijanja se smatra 4GDH ili četvrta generacija centralnog toplinskog sustava grijanja i opisana je kao ključna tehnologija za opskrbu topline zgradama s malim toplinskim potrebama u budućim održivim energetskim sustavima.

U bližoj budućnosti, očekuje se značajan napredak u implementiranju pametnih brojila i centralnih toplinskih sustava grijanja.

8. LITERATURA

1. CONNOLLY, D., LUND, H., MATHIESEN, B. V., WERNER, S., MÖLLER, B., PERSSON, U., BOERMANS, T., TRIER, D., ØSTERGAARD, P. A., NIELSEN, S., 2013., Heat roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system, Energy Policy 2014; 65:475–89

2. DOMINIKOVIĆ, D.F., STUNJEK, G., BLANCO, I., MADSEN, H., KRAJAČIĆ, G., 2020., Technical, economic and environmental optimization of district heating expansion in an urban agglomeration, Energy, Volume 197, 117243, ISSN 0360-5442

3. HOLIK, F., HORALEK, J., NERADOVA, S., NOVAK, M., MARIK, O., 2015., Communication technology for smart heat metering, 25th International Conference Radioelektronika, Pardubice, 2015, str. 405-410

4. IBHAZE, A.E., AKPABIOA, M.U., AKINBULIRE, T.O., 2020., A review on smart metering infrastructure, International Journal, Energy Technology and Policy, vol. 16, br. 3, str. 277–301

5. KESTER, J.C.P., GONZALES BURGOS, M.J., PARSONS, J., 2009., Smart Metering Guide, Energy Saving and the Customer, Edition 2010

6. KLASSEN, R.E., PATEL, M.K., 2013., District heating in the Netherlands today: a techno-economic assessment for NGCC-CHP (natural gas combined cycle-combined heat and power), Energy 2013, str. 54, 63-73

7. KOPONEN, P., SACO, L., ORCHARD, N., VORISEK, T., PARSONS, J., ROCHAS, C., MORCH, A., LOPES, V., TOGEBY, M., 2008. Definition of Smart Metering and Applications and Identification of Benefits

8. LANSING, J., 2003., Principles of operation for ultrasonic gas flow meters, Daniel Measurement and Control, Inc., Proceedings of the American school of gas measurement technology, str. 50-60.

9. LIPOŠĆAK, Z., BOŠKOVIĆ, M., 2013., Survey of smart metering communication technologies, str. 1391-1400, EUROCON, Zagreb, 01. - 04. srpnja 2013.

10. LUND, H., ALBERG ØSTERGAARD, P., CHANG, M., WERNER, S., SVENDSEN, S., SORKNAES, P., THORSEN, J.E., HVELPLUND, F., GRAM MORTENSEN, B.O., VAD MATHIESEN B., BOJESEN C., DUIC, N., ZHANG, X., MOLLER, B., 2018., The status of 4th generation district heating: Research and results, Energy, Volume 164, str. 147-159, ISSN 0360-5442

11. LUND, H., WERNER, S., WILTSHIRE, R., SVENDSEN, S., THORSEN, J.E., HVEPLUND, F., VAD MATHIESEN, B., 2014., 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy, Volume 68, str. 1-11, ISSN 0360-5442
12. MIHAJLOVIĆ, Ž., MILANKOV, A., ŽIVKOVIĆ, L., TOLIĆ, M., 2016., Implementation of Wireless M-Bus Concentrator/Gateway for Remote Reading of Smart Gas Meters, IEEE, TO-NET d.o.o., 24th Telecommunications Forum (TELFOR), str. 1-4
13. Moustakidis, S.; Meintanis, I.; Karkanias, N.; Halikias, G.; Saoutieff, E.; Gasnier, P.; Ojer-Aranguren, J.; Anagnostis, A.; Marciniak, B.; Rodot, I.; Lezak, E.; Pluta, J.; Penev, M.; Jäppinen, H.; Petit, S.; Krajnc, M.; Kouvaris, K.; Eleftheriou, A., 2019., Innovative Technologies for District Heating and Cooling: InDeal Project. Proceedings 2019
14. PAVLOVIĆ, B., PANIĆ, G., KOZMAR, H., 2020., Utjecaj sastava plina na točnost mjerenja protoka s obzirom na različite principe mjerenja (preliminarni izvještaj), Plin, znanstveno-stručni časopis za plinsko gospodarstvo i energetiku, ožujak 2020., broj 1, godina XX, ISSN 1333 - 1132
15. SARBU, I., MIRZA, M., CRASMAREANU, E., 2019., A review of modelling and optimisation techniques for district heating systems, International Journal, Energy Technology and Policy, str. 6572–6598
16. THOMSON, J., 2018., Fundamentals and principles of diaphragm meters, American School of Gas and Measurement Technology: CO2; 4. lipanj
17. VAN AUBEL, P., POLL, E., 2019., Smart metering in the Netherlands: What, how, and why, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, volume 109, str. 719-725, ISSN 0142-0615
18. WANG, Z., CRAWLEY, J., LI, F.G.N., LOWE, R., 2019., Sizing of district heating systems based on smart meter data: Quantifying the aggregated domestic energy demand and demand diversity in the UK, Energy, volume 193, 15 February 2020, 116780
19. WERNER, S., 2017., International review of district heating and cooling, Energy, volume 137, str. 617-631, ISSN 0360-5442

Web izvori:
20. ELEKTROMETAL SA, 2020., Wireless radio gas meter data logger APULSE X373, URL: https://en.elektrometal.eu/products/1056
(PRISTUPLJENO: 17.09.2020.)

21. ELECTRONICS NOTES, 2020., Gsm network architecture, URL: https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm/network-architecture.php (PRISTUPLJENO: 17.09.2020.)
22. ENERGY COMPANY, 2016., How to read your gas meter, URL: https://www.energycompanynumbers.co.uk/how-to-read-your-gas-meter (PRISTUPLJENO: 15.09.2020.)
23. FLOW METER GROUP, 2018., Rotary Gas Meters, URL: https://flowmetergroup.com/rotary-gas-meter.aspx (PRISTUPLJENO: 16.09.2020.)
24. CAMERON MEASUREMENT SYSTEMS, Barton 7000 Series Precision Gas Turbine Meters, 2020., URL:https://www.teltherm.co.nz/load_pdf_document/x_document_uid/380.html+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=hr&client=firefox-b-d (PRISTUPLJENO: 16.07.2020.)
25. CELENZA, L., DELL'ISOLA, M., ALESSIO, R.D., FICCO, G., VIGO, P., VIOLA, A., 2013., Metrological analysis of smart heat meters, 16th International Flow Measurement Conference, FLOMEKO 2013, str. 546-550, 24.-26. rujan, Pariz, Francuska
26. CHERKASOVA, V., 2018., What is SigFox technology, Student Circuit, URL: https://www.student-circuit.com/learning/year3/iot/what-is-sigfox-technology (PRISTUPLJENO: 18.09.2020.)
27. HONEYWELL, Elster turbine gas meters, 2020, URL: https://www.honeywellprocess.com/en-US/explore/products/gas-measurement-and-regulation/metering/volume-meters/Pages/elster-turbine-gas-meters.aspx (PRISTUPLJENO: 15.09.2020.)
28. KAMSTRUP, Energy efficient heat supply, 2020., URL: https://www.kamstrup.com/en-en/heat-solutions/themes/energy-efficient-heat-supply (PRISTUPLJENO: 20.07.2020.)
29. LAUERSEN, B., 2019., District Energy in Denmark, 15.11.2019., URL: https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-denmark/ (PRISTUPLJENO: 15.09.2020.)
30. MARAS, J., 2019., District Energy in Croatia, EUROHEAT & POWER, 15.11.2019., URL: https://www.euroheat.org/knowledge-hub/district-energy-croatia/ (PRISTUPLJENO: 15.09.2020.)

31. METERS UK LIMITED, Smart Heat 45, 2020., URL: https://meters.co.uk/heat/ (PRISTUPLJENO: 10.07.2020.)
32. PETROWIKI, 2020a., Coriolis gas flowmeters, URL: https://petrowiki.org/Coriolis_gas_flowmeters (PRISTUPLJENO: 11.07.2020.)
33. PETROWIKI, 2020b., Gas turbine meter, URL: https://petrowiki.org/Gas_turbine_meter (PRISTUPLJENO: 11.07.2020.)
34. PETROWIKI, 2020c., Orifice gas meters, URL: https://petrowiki.org/Orifice_gas_meters (PRISTUPLJENO: 11.07.2020.)
35. PETROWIKI, 2020d., Ultrasonic gas meters, URL: https://petrowiki.org/Ultrasonic_gas_meters (PRISTUPLJENO: 11.07.2020.)
36. SEMTECH, 2020., What is LoRa?, URL: https://www.semtech.com/lora/what-is-lora (PRISTUPLJENO: 18.09.2020.)
37. STEINBERG, B., 2014., Orifice Plate, Part VII Natural Gas Flow Meter Types, 11.11.2014, URL: https://sagemetering.com/natural-gas-flow-measurement/orifice-plate-part-vii-natural-gas-flow-meter-types (PRISTUPLJENO: 15.09.2020.)
38. WIKIMEDIA, 2007., Line of sight propagation, URL: https://commons.m.wikimedia.org/wiki/file:Fresnel_zone_disrupted.png#mw-jump-to-license (PRISTUPLJENO: 13.07.2020.)
39. WIKIMEDIA, 2010., Rotary Gas Meter, https://commons.m.wikimedia.org/wiki/file:Roots_blower_-_2_lobes.svg#mw-jump-to-license, (PRISTUPLJENO: 12.07.2020.)
40. WUHAN RADARKING ELECTRONIC CORP., 2020., Diagram Domestic Gas Meter IC Card Prepaid Digital Gas Meter With Check Button, URL: http://www.smart-electricmeters.com/sale-9582540-diagram-domestic-gas-meter-ic-card-prepaid-digital-gas-meter-with-check-button.html (PRISTUPLJENO: 16.09.2020.)

IZJAVA

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

Ivan Vukoja

Ivan Vukoja

KLASA: 602-04/20-01/254
URBROJ: 251-70-03-20-2
U Zagrebu, 20.11.2020.

Ivan Vukoja, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01/254, UR. BROJ: 251-70-12-20-1 od 17.11.2020. godine priopćujemo temu diplomskog rada koja glasi:

PAMETNA PLINSKA BROJILA I CENTRALNI TOPLINSKI SUSTAVI GRIJANJA

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

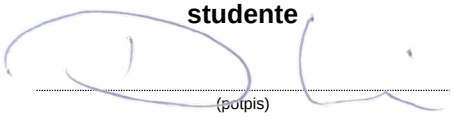


(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente



(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)