



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Марина Бобар

Динамичка промјена профилне конфигурације у систему за управљање паметним бројилима

МАСТЕР РАД

- Мастер академске студије -


Нови Сад, 2019

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани документ/ЦД
Врста рада, ВР :	Мастер рад
Аутор, АУ :	Марина Бобар
Ментор, МН :	др Дарко Чапко, ванредни професор
Наслов рада, НР :	Динамичка промјена профилне конфигурације у систему за управљање паметним бројилима
Језик публикације, ЈП :	Српски(ћирилица)
Језик извода, ЈИ :	Српски/Енглески
Земља публикавања, ЗП :	Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2019
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Факултет Техничких Наука (ФТН), Д. Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/35/0/1/13/0/0
Научна област, НО :	Електротехничко и рачунарско инжењерство
Научна дисциплина, НД :	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Паметна мрежа, Напредна мјерна инфраструктура, Паметна бројила, Систем за управљање паметним бројилима
УДК	
Чува се, ЧУ :	Библиотека ФТН, Д. Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	Овај рад говори о изазовима обраде велике количине догађаја генерисаних на паметним бројилима приликом екстремних временских услова. Описане су предности паметних бројила као и сервиси који су од значаја за пренос информација са паметних бројила до система за управљање паметним бројилима. У раду је предложено софтверско рјешење за унапређење обраде догађаја.
Датум прихватања теме, ДП :	
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: др Срђан Вукмировић, ванредни професор
	Члан: др Немања Недић, доцент
	Члан, ментор: др Дарко Чапко, ванредни професор
	Потпис ментора

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :			
Identification number, INO :			
Document type, DT :	Monographic publication		
Type of record, TR :	Textual material, printed/CD		
Contents code, CC :	Master thesis		
Author, AU :	Author Name		
Mentor, MN :	Darko Capko, PhD		
Title, TI :			
Language of text, LT :	Serbian (cyrillic script)		
Language of abstract, LA :	Serbian/English		
Country of publication, CP :	Serbia		
Locality of publication, LP :	Vojvodina		
Publication year, PY :	2019		
Publisher, PB :	Author reprint		
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad		
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/35/0/1/13/0/0		
Scientific field, SF :	Electrical and computer engineering		
Scientific discipline, SD :			
Subject/Key words, S/KW :	Smart Grid, Advanced Metering Infrastructure, Smart Meter, Smart Meter Management System		
UC			
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad		
Note, N :			
Abstract, AB :	This paper addresses the challenges of processing the large amount of events generated on smart meters under extreme weather conditions. The advantages of smart meters and the services that are important for transferring information from smart meters to the smart meter management system are described. This paper proposes a software solution for enhancing event processing.		
Accepted by the Scientific Board on, ASB :			
Defended on, DE :			
Defended Board, DB :	President:	Srđan Vukmirović, PhD, Associate Professor	
	Member:	Nemanja Nedić, PhD, Assistant Professor	Menthor's sign
	Member, Mentor:	Darko Čapko, PhD, Associate Professor	

	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА 21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6	Број:
	ЗАДАТАК ЗА МАСТЕР РАД	Датум:

(Податке уноси предметни наставник - ментор)

СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ:	ПРИМЕЊЕНО СОФТВЕРСКО ИНЖЕЊЕРСТВО
РУКОВОДИЛАЦ СТУДИЈСКОГ ПРОГРАМА:	Проф. др Драган Поповић

Студент:		Број индекса:	
Област:			
Ментор:			
НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА ДИПЛОМСКИ – МАСТЕР РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА: <ul style="list-style-type: none"> - проблем – тема рада; - начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна; 			

НАСЛОВ ДИПЛОМСКОГ - МАСТЕР РАДА:

Динамичка промјена профилне конфигурације у систему за управљање паметним бројилим

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

Анализирати на који начин подаци са паметних бројила стижу до система за управљање паметним бројилима. Анализирати рад и перформансе система за управљање паметним бројилима и предложити софтверско рјешење за унапређење обраде података са паметних бројила. Тестирати перформансе система након имплементираних рјешења и дискутовати о добијеним резултатима.

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:

Примерак за: 0 - Студента; 0 - Досије студента; 0 - Ментора;

Списак коришћених скраћеница

AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
AMS	<i>Advanced Metering System</i>
CIS	<i>Customer Information System</i>
DMS	<i>Distribution Management System</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
HAN	<i>Home Area Network</i>
NAN	<i>Neighborhood Area Network</i>
NMS	<i>Network Management System</i>
OMS	<i>Outage Management System</i>
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SMMS	<i>Smart Meter Management Service</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

Садржај

1	Увод.....	1
2	Теоријске основе	3
2.1	Електроенергетски систем	3
2.1.1	Паметна мрежа	5
2.2	Мјерна инфраструктура.....	7
2.2.1	Паметна бројила	8
2.2.2	Напредна мјерна инфраструктура.....	9
2.3	Систем за управљање паметним бројилима.....	12
2.3.1	Догађаји у оквиру паметне мреже.....	14
2.3.2	Профилна конфигурација.....	16
2.3.3	Обрада и филтрирање догађаја на SMMS	17
3	Формулација проблема.....	19
4	Предложено рјешење	21
5	Тестирање.....	23
6	Закључак	30
7	Литература.....	31
	Подаци о кандидату	33

1 Увод

За несметано функционисање индустрије, транспортних, комуникационих, рачунарских система и других инфраструктура неопходно је непрекидно напајање електричном енергијом. Са развојем технологије повећава се и зависност модерног друштва од електричне енергије у свим аспектима живота. Због тога постоји потреба за ефикасним управљањем напајањем и снабдијевањем потрошача висококвалитетном и поузданом електричном енергијом. Прекиди у напајању електричном енергијом имају негативан утицај на квалитет живота и имају значајне директне или индиректне економске посљедице.

Пружање непрекидног, поузданог и квалитетног напајања електричном енергијом је комплексан задатак у нормалним временским условима. Његова комплексност расте приликом абнормалних услова, односно оних који резултирају неочекиваним поремећајима у електроенергетским системима. Екстремни временски услови могу изазвати природне катастрофе попут поплава, урагана, олуја и представљају главни узрок прекида у напајању електричном енергијом.

Током посљедње деценије дошло је до пораста броја елементарних непогода. Глобално загријавање се рефлектује повећаном фреквенцијом великих поплава, урагана, олуја и др. У зависности од јачине олује и количине начињене штете, прекиди у напајању могу трајати неколико сати или чак неколико дана. У производњи чак и мала треперења снаге могу имати значајан утицај. При поновном успостављању напајања могу се појавити електрични напони што може резултирати скупим оштећењима критичне опреме коју је тешко поправити. Животи пацијената зависе од непрекидног напајања те прекиди могу довести до губитка људских живота. Са дужином трајања прекида повећавају се и економски губици што даје већи значај брзој рестаурацији напајања електричном енергијом.

Паметна бројила помажу у смањењу ризика прије, током и након катастрофе истовремено постављајући темеље за снажнију и отпорнију енергетску будућност. Правилна и брза детекција испада је сложен процес и зависи од великог броја фактора. Један дио тог процеса представља начин на који се догађаји обрађују у систему за управљање паметним бројилима, а то је управо фокус овог мастер рада. У оквиру система за управљање паметним бројилима процес обраде је могуће конфигурисати креирањем профилне конфигурације паметних бројила. У профилу се дефинише који типови догађаја и мјерења ће се обрађивати, а који се неће даље прослијеђивати другим сервисима. Тематика овог рада јесте реализација софтверског рјешења које ће омогућити аутоматску динамичку промјену профилне конфигурације.

Након уводног слиједи поглавље које описује теоријске основе које су од значаја за разумијевање саме теме. Поголавље „Теоријске основе” укратко описује електроенергетски систем и његове подсистеме, а такође и концепт паметне мреже као најмодернијег облика електроенергетског система. Описане су функционалности и предности паметне мреже. Даље је дат опис мјерног система и историјат мјерних инструмената. Фокус је на паметним бројилима као и систему за даљинско читавање бројила односно напредну мјерну инфраструктуру. Описано је на који начин се подаци прикупљају са паметних бројила, њихов пренос од паметних бројила до система за управљање паметним бројилима и осталих система у оквиру посматраног критичног инфраструктурног софтвера, односно система за дистрибуцију електричне енергије. Укратко је дат опис дијелова посматраног критичног инфраструктурног софтвера који су од интереса за разумијевање тематике овог рада. Детаљно је објашњен појам профилне конфигурације у оквиру система за управљање паметним бројилима као и поступак обраде података пристиглих у систем.

У поглављу „Формулација проблема” описан је проблем обраде догађаја приликом елементарних непогода, конвенционално рјешење као и његове предности и мане.

У наредном поглављу је представљен приједлог новог рјешења. Приказана је архитектура рјешења, имплементација и функционалности које апликација пружа. Апликација се ослања на систем за управљање паметним бројилима и њен главни циљ јесте унапређење обраде велике количине догађаја у случајевима временских непогода.

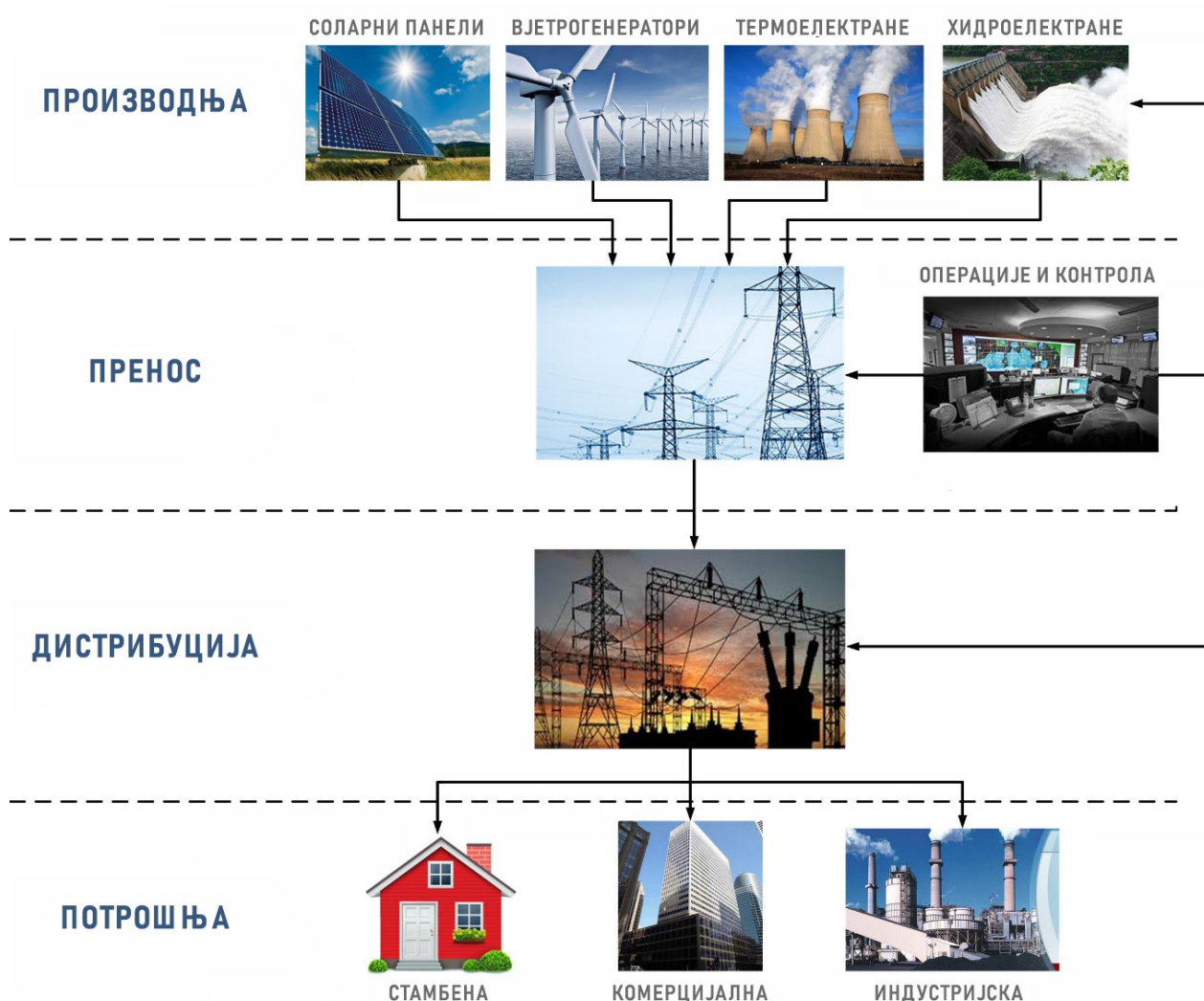
У поглављу „Тестирање” сумирани су резултати тестирања предложеног рјешења. Приказано је поређење перформанси система за управљање паметним бројилима без и са покренутим софтверским рјешењем које представља додатну компоненту у његовом раду.

На крају рада дат је закључак у коме су наведене предности имплементираног рјешења заједно за могућностима за његово унапређење, као и референце на радове и материјали који су допринијели при изради овог рада.

2 Теоријске основе

2.1 Електроенергетски систем

Електроенергетски систем је систем у оквиру ког се изводе све електроенергетске трансформације из или у електричну енергију, унутрашње трансформације електричне енергије, њен пренос, дистрибуција и непосредна потрошња [1]. Електроенергетска мрежа представља мрежу струјних генератора, далековада, трансформатора и дистрибутивних система, а чији је циљ квалитетно снабдијевање крајњих корисника потребном количином електричне енергије уз минималне трошкове. Тренутно се електрична енергија производи у централизованим електранама и преноси у једном смјеру преко преносних мрежа до дистрибутивних, прије него што стигне до крајњих потрошача [2].



Слика 1. Подсистеми електроенергетског система

На основу генералних захтјева који се постављају пред сваки енергетски и технички систем изведена је основна структура електроенергетских система приказана на слици 1:

1. Производња - први у ланцу подсистема, производни систем, је систем у ком се врши трансформација различитих облика енергије (угаљ, вода, нуклеарна енергија итд.) у електричну енергију. Електрична енергија која се у њему производи, представља облик енергије који постаје и те како атрактиван за пренос и дистрибуцију и на крају за трансформацију у потребне облике. Електране у сваком тренутку треба да задовоље потребе потрошача за електричном енергијом и да обезбиједе неопходан ниво резерве за случај испада појединих капацитета или за случај непредвиђених захтјева од стране потрошача. С обзиром на то да се генератори енергије не могу налазити близу насељених мјеста из безбједносних, правних и финансијских разлога, потребни су далеководи за пренос електричне енергије на велике удаљености (често више стотина километара).
2. Пренос – преносни и дистрибутивни подсистеми имају заједнички задатак да електричну енергију пренесу од извора до потрошача. Пренос обухвата преносну мрежу која се састоји од надземних водова (далеководи), кабловских водова и интерконективних трансформатора који повезују мреже различитих напонских нивоа. Пренос се врши од производње до градова, односно трафостаница, на високом напонском нивоу, како би се смањили губици.
3. Дистрибуција - представља пренос од трафостаница до крајњих потрошача и обухвата дистрибутивне мреже и дистрибутивне трансформаторе.
4. Потрошња - у подсистему потрошње врши се непосредна потрошња електричне енергије, односно, трансформација електричне енергије у топлоту, механички рад, освјетљење. Тај подсистем чине индивидуални потрошачи, домаћинства, занатске и трговачке радње, фабрике... Дакле, индивидуални потрошач представља скуп уређаја – електричних апарата (елементарних потрошача) за трансформацију електричне енергије у употребне облике, а јединственим мјестом за контролу њене потрошње – бројилом електричне енергије [1].

Структура електроенергетских система се може извести на основу три начела која важе за практично сваки енергетски систем: поузданост, сигурност и економичност. Појам поузданости се везује за напајање потрошача електричном енергијом. Она се дефинише вјероватноћом да потрошач буде напајан. Сигурност се везује за одређени погон (режим) електроенергетског система. Представља способност електроенергетског система да „преживи“ сваки „очекиван“ поремећај који се може догодити у том погону. Под појмом „преживи“ подразумева се да систем и даље остане у функцији, тј. да се сви потрошачи напајају електричном енергијом. Економично изграђен систем је онај који је изграђен са минималним инвестиционим улагањима, али који задовољава специфициране критеријуме поузданости напајања потрошача и сигурности његових погона. Економичан погон је погон већ изграђеног система у којем се потрошачи напајају електричном енергијом на најјекономичнији начин [1].

2.1.1 Паметна мрежа

Глобалне климатске промјене и убрзан раст популације током претходних деценија створили су све веће захтјеве за великом количином одрживе и чисте електричне енергије на глобалном нивоу. Међутим, у већини земаља данас све већа потражња за енергијом значи још веће оптерећење ионако пренапрегнуте, старе и крхке електроенергетске инфраструктуре [3]. Потенцијалне посљедице кварова на мрежи никада нису биле веће јер транспорт, комуникација, финансије и друге критичне инфраструктуре зависе од сигурних, поузданих испорука електричне енергије [4].

Електроенергетска мрежа такође пати од недостатка ефикасне комуникације, надгледања, дијагностике кварова и аутоматизације, што додатно повећава могућност квара система на нивоу региона због каскадног ефекта покренутог једним испадом. Све већа адаптација обновљивих и алтернативних извора енергије у 21. вијеку је увела нова питања, попут интеграције електроенергетских мрежа, стабилности система и складиштења енергије [3].

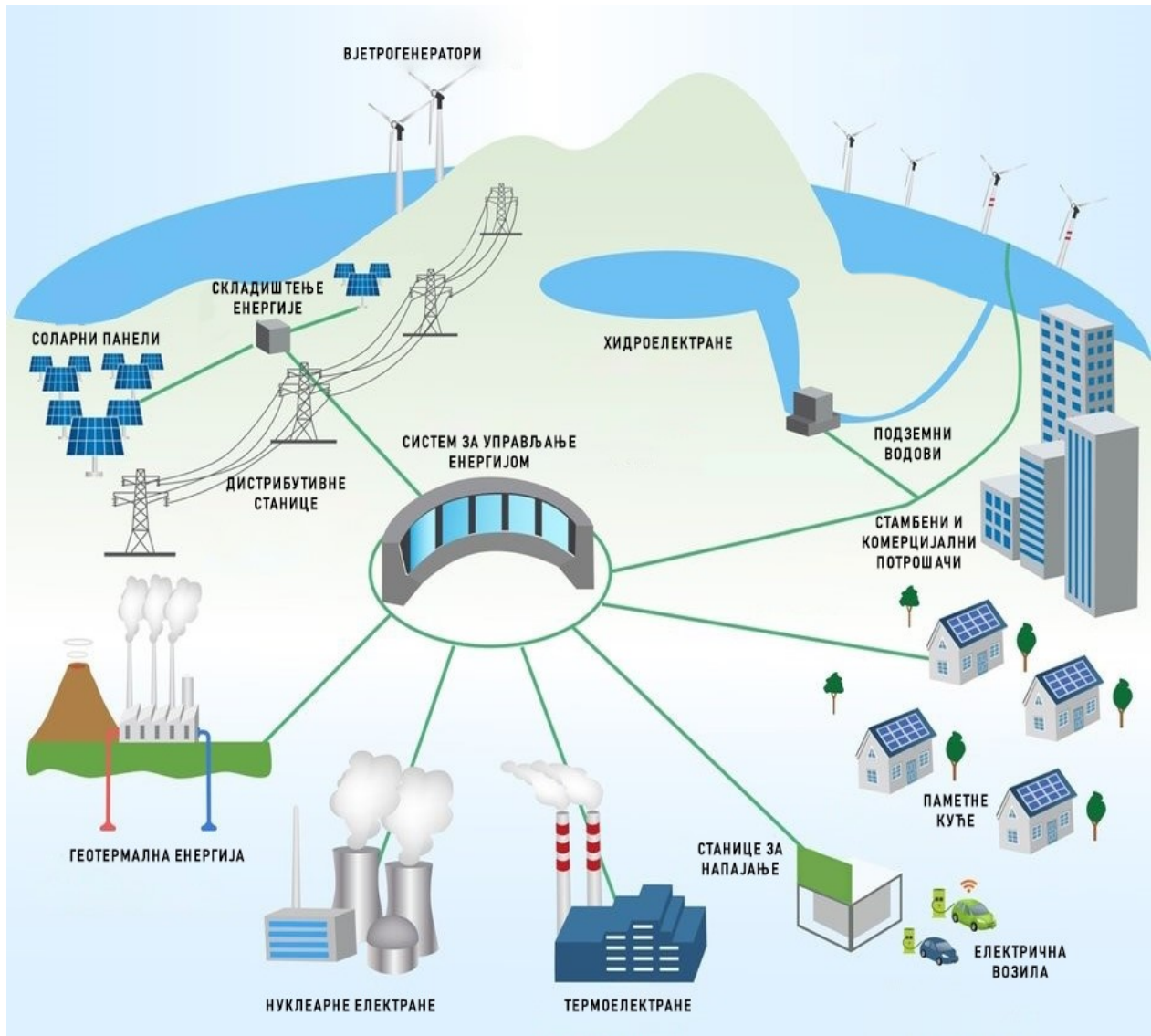
Да би се ријешили ови изазови, појавио се концепт електроенергетског система слjedeће генерације, односно тзв. паметна мрежа. Паметна мрежа је модерна електроенергетска мрежа која пружа побољшану ефикасност, поузданост и сигурност, уз интеграцију обновљивих и алтернативних извора енергије, кроз аутоматизовану контролу и модерне комуникационе технологије [5]. Практичне методе, алати и технологије засновани на напретку у областима рачунања, контроле и комуникација омогућавају да се електроенергетске мреже и друге инфраструктуре локално саморегулишу, укључујући аутоматску конфигурацију у случају кварова, пријетњи или поремећаја [4]. Ова мрежа је модернизација постојећег електричног система која унапређује ефикасност, поузданост и сигурност и омогућује интеграцију са обновљивим и алтернативним изворима енергије кроз аутоматизовану контролу и модерне комуникационе технологије. У паметној мрежи поуздане и мрежне информације постају кључни фактор за поуздану испоруку енергије од производних јединица ка крајњим корисницима. Утицаји кварова опреме, ограничења капацитета и природне несреће и катастрофе, које изазивају поремећаје и нестанке струје, могу се у великој мјери избјећи мрежним надзором стања електроенергетског система, дијагностиком и заштитом. У том погледу, интелигентно и јефтино надгледање и контрола омогућена мрежним сензорским технологијама, постали су кључни за одржавање безбједности, поузданости и ефикасности паметне мреже [3].

Паметна мрежа ће омогућити до сада невиђен ниво учешћа потрошача. Паметна бројила и други механизми, омогућиће да корисник види колико електричне енергије користи, када је користи и колико кошта. У комбинацији са цијенама у реалном времену, ово ће омогућити уштеду новца јер ће се мање енергије користити онда када је струја најскупља. Поред тога, корисници могу још више уштедети тако што ће и сами производити електричну енергију користећи соларне панеле, вјетрењаче и сл. [6].

Предности паметне мреже укључују [9]:

- Побољшање поузданости и квалитета напајања електричном енергијом.
- Оптимизацију искоришћења постројења и избјегавање изградње помоћних електрана.
- Повећање капацитета и ефикасности постојећих електроенергетских мрежа.
- Побољшање отпорности на поремећаје.
- Бржу рестаурацију напајања електричном енергијом након испада.

- Омогућавање лакше употребе обновљивих извора енергија.
- Аутоматизацију одржавања и контролних операција.
- Смањење емисије штетних гасова са ефектом стаклене баште, омогућавањем употребе електричних возила и обновљивих извора енергије.
- Представљање нових могућности за побољшање сигурности мреже.
- Омогућавање преласка на електрична возила и нове могућности складиштења енергије.
- Двосмјерну комуникацију између потрошача и електродистрибуција.



Слика 2. Паметна мрежа

2.2 Мјерна инфраструктура

Основни задатак електродистрибуције јесте да испоручи електричну енергију крајњим потрошачима, као и да наплати потрошену количину електричне енергије. Систем мјерења служи за прикупљање измјерених података и њихов пренос до одговарајућег система за управљање тим подацима. Укључује ручне (за електромеханичка) и аутоматизоване (за електронска бројила) системе за читање бројила.

Прва бројила која су настала су електромеханичка бројила, чије је вриједности потребно прочитати ручно (обично једном мјесечно) те их затим унијети у одговарајуће системе за управљање мјереним вриједностима. У циљу повећања брзине читавања и смањења могућности људске грешке и потребе за ручним читавањем, односно изласцима на терен, настају електронска (паметна) бројила. Она су омогућила прецизнија мјерења и аутоматско читавање бројила (енг. *Automated Meter Reading* – AMR). AMR је технологија аутоматског прикупљања података о потрошњи, дијагностици и стању уређаја као и пребацивања тих података у централну базу података. На овај начин се избјегава излазак на терен и долазак у непосредну близину бројила. Још једна предност јесте то што наплата сада може бити заснована на потрошњи у реалном времену, а не на процјенама заснованим на прошлој или предвиђеној потрошњи. Ова технологија обезбјеђује правовремене информације које заједно са анализом помажу дистрибутерима али и купцима да боље контролишу употребу и производњу електричне енергије. Прва генерација паметних бројила је била способна за једносмјерну комуникацију, односно извјештавање дистрибутера о потрошњи енергије. Међутим, потребно је да се поступак још више аутоматизује па слиједи инвестирање у напредну мјерну инфраструктуру.



**КОНВЕНЦИОНАЛНА
БРОЈИЛА**



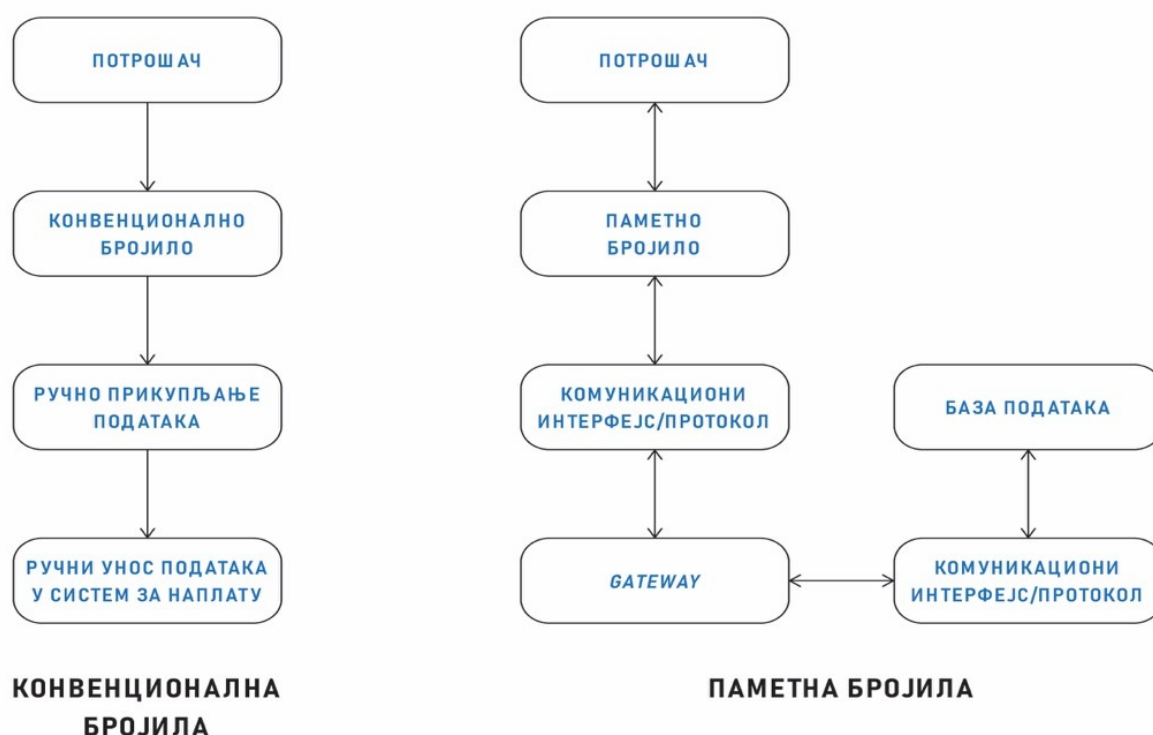
ПАМЕТНА БРОЈИЛА

Слика 3. Изглед конвенционалног и паметног бројила

2.2.1 Паметна бројила

Паметна бројила представљају последњи корак у еволуцији бројила. То су електронски уређаји за мјерење електричне енергије који се могу декларисати као најважнија компонента паметне електроенергетске мреже. Повезана су са центром дистрибутивне компаније двосмјерном комуникационом везом путем које се могу преносити измјерене вриједности као и контролне поруке.

Традиционална бројила електричне енергије показују само количину електричне енергије која је потрошена од када је неко (читаач бројила) последњи пут прочитао бројило. Помоћу паметног мјерења електричне енергије долази се до повећања тачности, приватности и сигурности, и мањег броја људских грешака и процијењених рачуна.



Слика 4. Архитектура система за мјерење у зависности од типа бројила [12]

На слици 4 приказана је разлика између система за мјерење заснованог на конвенционалним бројилима и система заснованог на паметним бројилима. У првим се измјерени подаци приказују на аналогном бројачу и морају бити ручно прочитани и унесени у систем за наплату, док је тај цијели процес аутоматизован захваљујући паметним бројилима. Способност двосмјерне комуникације је најважнија карактеристика која разликује конвенционална и паметна бројила.

Поред мјерења протока енергије, омогућавају размјењивање информација о потрошњи енергије између дистрибуција и потрошача [10]. Паметна бројила осим прикупљања и слања података омогућавају и примање и извршавање команди даљинским путем (као што су укључење и искључење уређаја). Подржавају функционалност аутоматског слања самоиницијативних даљинских читавања и битних догађаја, али такође и слања одговора

на захтјев који пристиже са одговарајућег сервиса. Битна карактеристика паметних уређаја јесте праћење квалитета електричне енергије што укључује мјерење напона, интензитета струје, активне и реактивне снаге као и фактор снаге. У зависности од модела бројила, мјерене вриједности се могу добијати или у одабраним или периодичним моментима (нпр. 5, 10 или 15 минута). Поред мјерења вриједности паметна бројила генеришу тзв. догађаје који су везани за нестанак или повратак напајања чиме се омогућава бржа детекција испада [12]. Догађаји ће бити детаљније објашњени у поглављу 2.3.1.

Након уградње паметних бројила, дистрибутери могу лакше одредити мјеста прекида напајања, смањује се потреба са слањем особља ради читавања бројила или укључења и искључења потрошача са мреже. Помажу и при смањењу крађе електричне енергије. Дистрибутерима електричне енергије омогућавају и већу флексибилност, тако да током дана могу мијењати цијену електричне енергије у односу на потрошњу.

Паметна бројила пружају погодности не само електродистрибуцијама него и самим корисницима електричне енергије тако што им пружају увид у њихову потрошњу као и актуелну цијену у реалном времену што може подстаћи потрошаче да електричне уређаје користе у вријеме пада потрошње и цијене електричне енергије. Сматра се да би тако потрошачи смањили своје рачуне до 10% на годишњем нивоу, док би дистрибутерима смањење потрошње током времена вршне потрошње (енг. *peak*) омогућило већу стабилност електроенергетског система. Потрошачима се пружа увид у историјске податке о потрошњи што укључује цијену електричне енергије, тарифу, као и емисију угљен диоксида. Захваљујући овим информацијама потрошачи могу оптимизовати своју потрошњу и смањити своје рачуне као и емисију штетних гасова [13].

Иако паметна бројила имају много предности, она такође представљају изазове и недостатке, јер имају краћи животни вијек због брзог темпа технолошких иновација (5 до 7 година), у поређењу с конвенционалним бројилима (20 до 30 или 40 година). Недостаци предузећа за дистрибуцију укључују трошкове обуке особља, развоја опреме и производње за транзицију у нове технологије и процесе, управљање негативним реакцијама јавности и прихватање нових бројила од стране потрошача. Потребна је сложена комуникациона инфраструктура, преузимање дугорочне финансијске обавезе према новој технологији мјерења и одговарајућем софтверу, управљање, складиштење и анализа огромне количине прикупљених података о мјерењу и осигуравање сигурности и приватности података о мјерењу [12].

2.2.2 Напредна мјерна инфраструктура

Напредни мјерни систем (енг. *Advanced Metering System* – AMS) је за првобитни циљ имао прикупљање и обраду података о количини потрошене електричне енергије ради наплате. Временом је уочено да се добављени подаци могу искористити и за друге процесе као што је систем за управљање дистрибуцијом (енг. *Distribution Management System* – DMS). На тај начин се олакшава детекција и изолација испада, лоцирање критичних тачака у мрежи итд. Још једна примјена коју ови подаци имају јесте у алгоритмима енергетских апликација што омогућује развијање поузданијих, јефтинијих и квалитетнијих рјешења.

Напредна мјерна инфраструктура (енг. *Advanced Metering Infrastructure* - AMI) настаје остваривањем двосмјерне комуникације између бројила и центра за обраду података чиме се унапређује сам процес прикупљања и обраде података. Настаје како би се постигли

динамични захтјеви данашњег тржишта у ком је комуникација веома битна. АМІ представља дио напредног мјерног система који обухвата још и функције за управљање даљинским читавањем потрошње (енг. *Advanced Metering Management* – АММ), функције система за управљање мјереним подацима и складиштење података (енг. *Meter Data Management* – МДМ) као и функције обрачуна и наплате утрошене електричне енергије.

АМІ је један од главних аспеката паметне мреже. Састоји се од напредних бројила или паметних бројила који прате потрошњу енергије, комуницирају и контролишу у циљу оптимизације потрошње енергије, имплементирају системе за управљање и складиштење подацима [7]. АМІ је заправо систем који мјери, прикупља и анализира потрошњу енергије, од напредних уређаја као што су паметна бројила, преко различитих комуникационих медија, на захтјев или на основу унапријед дефинисаног распореда. Омогућава аутоматско прикупљање велике количине корисничких и мрежних података на сигуран, поуздан и јефтин начин [8].

Подаци, претворени у информације одговарајућег формата, омогућавају подршку разним сервисима као што су директно мјерење оптерећења мрежних компоненти, процјена квалитета енергије итд. Ове карактеристике покрећу суштинске промјене у начину на који оператери дистрибутивних система планирају и управљају мрежом [8].

Подсистеми за пренос података морају да омогуће поуздан и брз двосмјерни пренос података, аларма и команди између компонената АМІ. Техничко рјешење подсистема за пренос података мора бити такво да има капацитет довољан да све постављене задатке компоненти АМІ обаве у специфицираним временским оквирима. Такође мора да обезбједи одговарајућу кодну заштиту података као што су заштита од неовлашћеног читања, неовлашћеног генерисања команди, доставе лажних података и слично.

Да би се постигла права паметна мрежа, поред АМІ који представља њену основу потребни су и додатни подсистеми. За постизање најбољих перформанси паметне мреже од великог значаја је повезаност између подсистема, гдје се сваки подсистем ослања на претходне и користи информације које они пружају. То су сљедећи подсистеми [11]:

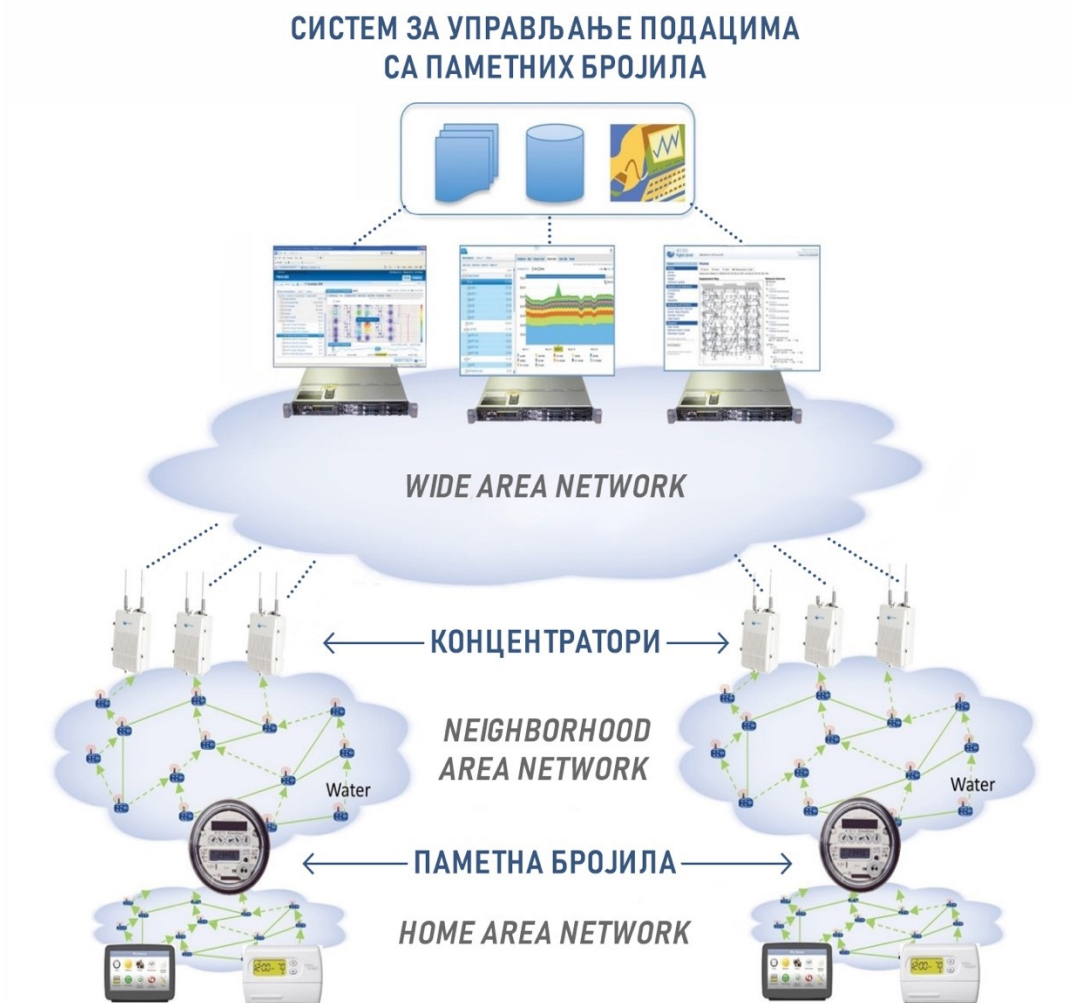
- *Advanced Metering Infrastructure* (АМІ) – омогућава успостављање комуникације са потрошачима и испоручује временски означене информације електродистрибуцији.
- *Advanced Distribution Operations* (АДО) – користи комуникацију коју АМІ остварује како би додао информације о дистрибуцији електричне енергије, а такође и користи информације из АМІ слоја како би унаприједио извршавање операција.
- *Advanced Transmission Operations* (АТО) – користи АМІ и АДО да би унаприједио операције и управљао преносом и напоном мреже, а захваљујући АМІ омогућава потрошачима приступ тржиштима електричне енергије.
- *Advanced Asset Management* (ААМ) – користи све информације које му пружају претходни слојеви у циљу унапређења ефикасности операција и искоришћења компоненти.

Да би АМІ систем ефикасно функционисао и да би се постигла максимална искоришћеност функционалности паметних бројила неопходно је интегрисати паметна бројила и комуникационе мреже са различитим типовима информационих система. У такве системе спадају [11]:

- *Meter Data Management System* (MDMS) – један од главних задатака јесте обрађивање и валидација података из AMI у циљу повећања тачности података.
- *Customer Information System* (CIS) – управља цјелокупном комуникацијом са потрошачима, односно обухвата функционалности везане за бригу о потрошачима и пружање услуга које задовољавају потребе, жеље или тежње корисника.
- *Outage Management System* (OMS) – систем који је задужен за детекцију и руковање испадима у мрежи.
- *Enterprise Resource Planning* (ERP) – обухвата планирање пословних ресурса односно низ активности које помажу у управљању пословним, финансијским аспектима пословања и људским ресурсима.
- *Mobile Workforce Management* (MWM) – омогућава ефикасније управљање ресурсима ван компаније, односно на пољу.
- *Geographic Information System* (GIS) – систем који је задужен за снимање, чување, анализу и приказивање свих географских података.
- *Transformer Load Management* (TLM) – управљање оптерећењем трансформатора.

Комуникациона мрежа омогућава пренос велике количине података. Очитавања са паметних бројила су могућа више пута у току дана као и њихов пренос од бројила до сервиса задужених за управљање мјереним подацима. На слици 5 је приказана архитектура преноса података од паметних бројила до сервиса за њихову обраду. HAN (*Home Area Network*) пружа везе између паметних бројила и кућних уређаја и других интегрисаних система као што су фотонапонски системи на крову, електрична возила, паметни термостати. Омогућава аутоматску контролу температуре просторија, контроле потрошње итд. Дистрибутивна компанија може управљати појединим кућним уређајима у циљу очувања стабилности система у случајевима оптерећења мреже. Поред HAN-а постоје још два комуникациона слоја, а то су NAN (*Neighborhood Area Network*) и WAN (*Wide Area Network*) који се разликују по величини подручја које обухватају, по брзини преноса и количини података који се преносе. NAN пружа комуникациону везу између више појединачних паметних бројила и концентратора података најчешће користећи технологије као што су *ZigBee*, *WiFi*, *DSL*. Омогућава пренос мјерених података као и дијагностичких порука или ажурирање софтвера паметних бројила (енг. *firmware*). Концентратори података су повезани са централним системом односно AMI путем WAN-а. WAN такође повезује и различите системе као што су MDM, DMS, SCADA итд.

С обзиром на то да сервиси у оквиру дистрибутивне компаније нису дизајнирани за обраду огромне количине података која стиже са паметних бројила интеграција са AMI је неопходна. На тај начин само валидни и подаци од значаја са паметних бројила постају доступни свим системима у оквиру управљања дистрибуцијом што доводи до унапређења постојећих функционалности и развоја нових [15].



Слика 5. Пренос података од паметних бројила до система за управљање подацима [25]

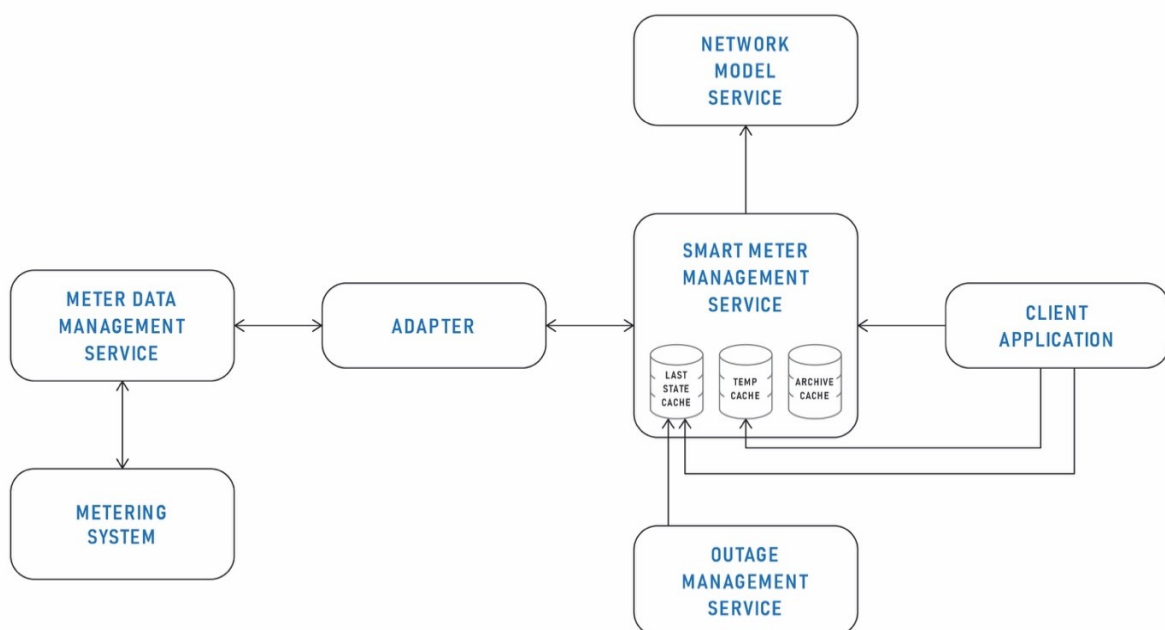
2.3 Систем за управљање паметним бројилима

Систем за управљање дистрибуцијом надгледа сваку компоненту и извршава операције користећи динамичку процјену стања у реалном времену. Да би систем успјешно функционисао мора се интегрисати са различитим корпоративним информационим системима као што су GIS, ERP, CIS. На слици 6 је приказан пренос података од паметних бројила до система за управљање дистрибуцијом као и интеракција између његових подсистема који су релевантни за овај рад.

Представљене су компоненте које учествују у преносу информација од паметних бројила до система за управљање паметним бројилима (енг. *Smart Meter Management System* – SMMS), као и системи који користе те информације:

- *Metering System* (MS) – систем за мјерење сачињен је од мјерне опреме и његова главна функционалност јесте да мјери и биљежи проток електричне енергије.
- *Meter Data Management Service* (MDMS) – обезбјеђује заједничку инфраструктуру за пријем података са бројила, односно од различитих система мјерења као и њихову анализу и складиштење.

- Адаптер - има улогу трансформације података из облика који SMMS разумије у облик који MDMS разумије и обрнуто. Не врши никакве додатне измјене над подацима осим трансформације.
- *Smart Meter Management Service* (SMMS) – систем чији је задатак филтрирање и обрада података са паметних бројила.
- *Outage Management System* (OMS) - систем који је задужен за руковање прекидима, односно за откривање и опоравак од прекида рада. Омогућава тестирање специфичне опреме на дистрибутивној мрежи.
- *Network Model Service* (NMS) – путем овог сервиса, све апликације и сервиси унутар DMS софтвера добијају информације о моделу мреже, односно о информацијама о елементима мреже и њиховој статичкој конективности.



Слика 6. Ток података од паметних бројила до DMS-a

Прије описа на који начин функционише SMMS сервис потребно је описати структуру и типове података који се користе. Сви подаци се размјењују и складиште у RDF (*Resource Description Framework*) формату. RDF је основа за обраду метаподатака и омогућава интероперабилност између апликација које размјењују машински читљиве информације. Циљ RDF-а је дефинисати механизам за описивање ресурса који не даје претпоставке нити дефинише семантику одређеног домена апликације. Механизам треба да буде доменски неутралан али погодан за описивање информација у било ком домену [14]. RDF објекат садржи тип и вриједност. Вриједност особине може бити неки од .NET типова као што су *bool*, *string*, *short*, *long*, *double*, *DateTime*, *Enum*, као и листа ових типова. Вриједност такође може бити и референца на неки други RDF објекат и тада она садржи његов јединствени идентификатор.

RDF описује ресурсе у облику тројки субјекат-предикат-објекат гдје субјекат означава ресурс, предикат означава особине или аспекте ресурса и изражава однос између субјекта и објекта. Типови података који су од значаја за овај рад су:

- *SmartMeter* – садржи податке о паметном бројилу, као што су израчунате вриједности фазе, тип догађаја, вријеме посљедњег мјерења, односно догађаја, као и референца на профил који му је додијељен, и
- *SmartMeterProfile* – профил паметног бројила о ком ће бити више ријечи у поглављу 2.3.2.

Систем за управљање паметним бројилима представља један од подсистема у оквиру система за управљање дистрибуцијом електричне енергије. С обзиром на то да паметна бројила генеришу велики број догађаја које је често тешко обрадити, SMMS има улогу филтрирања тих догађаја и смањења оптерећења осталих сервиса у оквиру DMS-а. Процјена валидности догађаја обухвата провјеру исправности бројила са ког је догађај стигао, структуре поруке, старости догађаја и профилну валидацију. Довољно је да догађај не испуњава једно од правила да би се сматрао неисправним. На тај начин се избегава слање неисправних догађаја или догађаја који нису од значаја у одређеном тренутку.

Користећи WCF (*Windows Communication Foundation*) технологију, имплементиран је сервис који излаже више уговора ка различитим странама. Уговор који је од интереса за овај рад јесте онај који излаже методе за додавање и промјене вриједности параметара профилне конфигурације.

Као што је приказано на слици 6, у оквиру SMMS-а постоје три базе података које се налазе у RAM меморији што омогућава боље перформансе. Као што је претходно наведено подаци се складиште у RDF формату. У *Last State Cache* се налазе информације о свим паметним бројилима и њиховим посљедњим измјереним вриједностима. Са друге стране *Temporary Cache*, односно привремена база, садржи податке који су у процесу обраде као што су нпр. захтјеви који чекају одговор. *Archive Cache* садржи догађаје из свих фаза.

Коришћењем GDA (*General Data Access*) упита ка NMS-у омогућен је приступ подацима. Поред тога што је могуће добити све ресурсе одређеног типа, постоји могућност и филтрирања на основу вриједности особина. На тај начин се унапређује функционалност и смањује оптерећење сервиса јер се добављају само ресурси од интереса.

Остали сервиси у оквиру DMS система се претплаћују на неки тип податка који им је од интереса. Приликом промјена као што су додавање нових ресурса, њихово ажурирање или брисање, SMMS обавјештава претплаћене сервисе о насталој промјени. То омогућава осталим сервисима као и клијентским апликацијама увид у промјену одмах након што је она настала. Сервиси добијају само информације на које су се преплатили што смањује непотребно оптерећивања сервиса.

2.3.1 Догађаји у оквиру паметне мреже

Као што је већ претходно споменуто у поглављу 2.2.1 паметна бројила пријављују догађаје када дође до нестанка напајања или уколико је измјерена вриједност неке од мјерених величина ван задатог опсега, аутоматски или на захтјев, захваљујући двосмјерној комуникацији. Аутоматски догађаји се шаљу одмах након што се догоде, док се други чувају на паметним бројилима све док не стигне захтјев за тим информацијама [2].

Догађаји представљају информације које потичу са паметног бројила и индикатори су аномалија у мрежи. Састоји се од неколико атрибута, укључујући информације о извору, односно уређају са ког потиче, уређају који је одговоран за детекцију и комуникацију, врсти и типу догађаја. Врсте догађаја су: аларми, информације, грешке и упозорења. Тип догађаја даје информацију о томе на који процес се догађај односи.

Догађаји указују на абнормална понашања али такође представљају и обавјештења класификована у широком распону од више од 150 типова. Могу се односити на статус уређаја у реалном времену, квалитет испоруке, захтјев/одговор, безбједносне испаде, проблеме у комуникацији или неке специфичне проблеме везане за мрежне уређаје [2]. Све претходно наведено представља моћан извор информација које могу бити од интереса испоручиоцу електричне енергије тј. електродистрибуцији и омогућавају унапређивање пословних процеса.

Пословне области у којима подаци о догађајима могу наћи примјену:

- Кориснички сервис – догађаји као што су губитак напајања или повратак напајања, који могу да укажу на испаде у пољу, омогућавају да се акција рестаурације предузме прије него што корисник назове да пријави испад.
- Управљање испадима – догађаји помажу да се лоцира уређај на коме се квар догодио, такође проактивно креирају догађаје како би утврдили да ли има угњеждених испада након великих рестаурација.
- Квалитет енергије – догађаји који се јављају при ниским и високим напонима служе да се ретроактивно идентификују нормално отворене тачке
- Управљање приходима – догађаји као што су инверзија бројила или обрнут смјер тока енергије заједно са читањима са бројила могу указати на крађу енергије и неуобичајену потрошњу.
- Операције над паметним бројилима и њихово надгледање – догађаји и тзв. *ping* команде омогућавају идентификацију оштећених/дефективних бројила, приступ релејима и другим уређајима, као и догађаји везани за хардвер који пружају информације о батерији, верзији софтвера итд. [2].

У зависности од старости података, важно је разликовати догађаје од статуса. Већина система чији је задатак читање мјерења не гарантује правовремену испоруку што узрокује додатно процесирање по пријему. Статус представља најновији податак и добија се на захтјев. У оквиру посматраног критичног инфраструктурног система постоји шест типова догађаја од значаја који представљају подскуп догађаја дефинисаних у IEC-61968-9 [17]:

- *POWER DOWN* – указује на престанак напајања електричном енергијом у одређеном дијелу електричне мреже,
- *POWER UP* – представља догађај супротан претходном, односно повратак напајања електричном енергијом,
- *UNDERVOLTAGE* – означава пад вриједности напона испод претходно дефинисане границе у одређеном дијелу мрежу,
- *UNDERVOLTAGE RETURN TO NORMAL* – супротан претходном, као што и сам назив каже представља повратак вриједности напона у претходно дефинисани нормални опсег,

- *OVERVOLTAGE* – представља повећање вриједности напона изнад дозвољене границе у одређеном дијелу електричне мреже, и
- *OVERVOLTAGE RETURN TO NORMAL* – супротан претходном, повратак вриједности напона у нормални опсег.

2.3.2 Профилна конфигурација

У оквиру сервиса за управљање паметним бројилима постоји конфигурација, односно XML (*Extensible Markup Language*) фајл из ког се при подизању сервиса учитавају вриједности различитих параметара битних за функционисање система. Процес обраде је могуће конфигурирати креирањем профила паметних бројила. Профили садрже одређене конфигурабилне карактеристике које дефинишу која ће се мјерења и догађаји који стижу са паметних бројила обрађивати и пропагирати другим сервисима. У оквиру SMMS-а постоје двије подразумијеване инстанце профила, нормални (*normal*) и олујни (*storm*) који је од значаја приликом елементарних непогода. Постоји могућност дефинисања нових профила, нпр. у зависности од временских услова. Профили се могу креирати и додјеливати одређеним дијеловима мреже само уз одговарајућу дозволу. Поред тога, омогућена је и промјена већ постојећих профила, како њихове конфигурације тако и могућности додјеливања другим дијеловима мреже. Један од параметара који се могу дефинисати у профилу јесте који су догађаји/мјерења дозвољени, односно чија ће се обрада вршити приликом пристизања на систем. Нпр. уколико је догађај забрањен (*disabled*) његова обрада се неће вршити нити ће се прослијеђивати другим DMS сервисима. Профил се може додијелити цијелој мрежи, региону, једној трансформаторској области или фидеру. Фидер је најмања јединица којој профил може бити додијељен. Фидер „пролази” поред индивидуалних потрошача који се на њега прикључују, умјесто да се за сваки од њих успоставља сопствена електроенергетска веза са сабирницама. Уколико ниједан профил није додијељен мора постојати подразумијевани.

SMMS мора да води рачуна о томе да је профил ажуран што значи да на сваку:

- промјену мреже,
- промјену каталога паметних бројила,
- промјену профила паметних бројила, и
- промјену додјеле профила паметних бројила

колекција профила мора бити ажурирана. Додати/обрисани/ажурирани профили паметних бројила морају бити пропагирани заинтересованим сервисима.

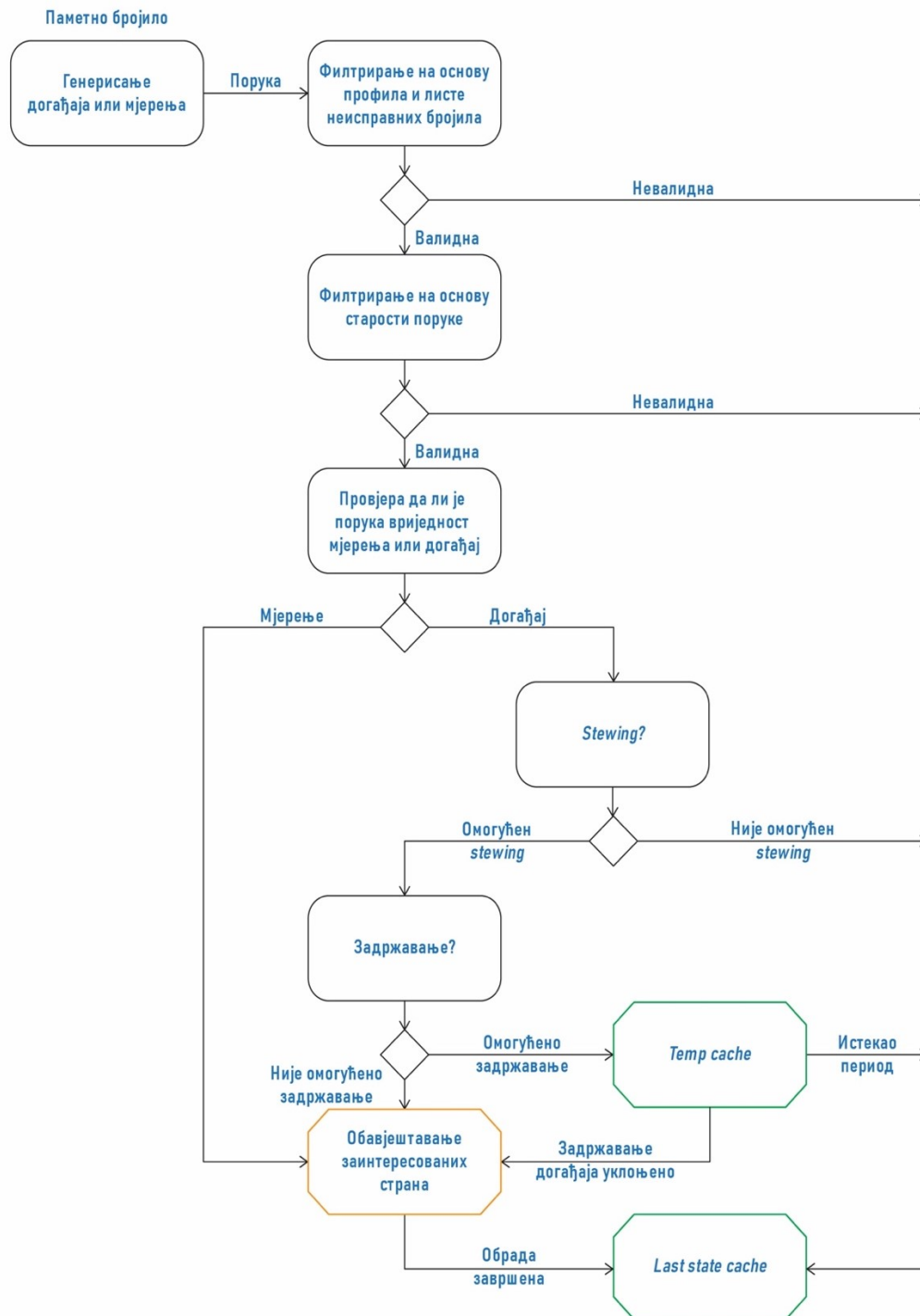
Профили дефинишу следећа подешавања паметних бројила као дио процесне конфигурације:

- дозвољени/забрањени типови догађаја,
- задржавање догађања,
- *stewing* догађаја (биће детаљно у следећем поглављу),
- дозвољена/забрањена читања,
- дозвољена/забрањена непожељна читања (*unsolicited readings*),
- дозвољени/забрањени типови паметних бројила и њихових подешавања,
- *timeout* периоди, гдје су примјенљиви, и
- број покушаја (нпр. при слању захтјева).

2.3.3 Обрада и филтрирање догађаја на SMMS

Након што сервис прими догађаје слиједи низ провјера валидности догађаја, а то су: *Message*, *FaultedSM*, *Profile* и *Age*,. Као што је већ споменуто, уколико догађај не прође бар једну провјеру сматра се неисправним и неважећим. *Message* валидација одбацује поруке уколико је сама структура поруке неисправна, односно уколико порука не посједује све обавезне атрибуте. Филтрирање порука се даље врши на основу профила и листе неисправних бројила. *FaultedSM* валидацијом се провјерава да ли се бројило са ког је стигао догађај налази у листи неисправних бројила. *Profile* валидација подразумијева провјеру параметара из профила који је додијељен фидеру ком припада бројило са ког је догађај пристигао. Уколико догађај не прође бар једну провјеру, његова обрада се не наставља и смјешта се у базу података. У оквиру *Age* валидације провјерава се старост догађаја. Уколико је разлика између временске ознаке којом је порука означена, односно тренутка у ком је генерисана, и тренутка у ком је догађај пристигао на систем, већа од претходно дефинисаног периода, порука се сматра застарјелом, њена обрада се не наставља и смјешта се у базу. AMS не гарантује правовремену испоруку генерисаних догађаја и прочитаних вриједности те је ова врста филтрирања од великог значаја. Порука може садржати или неку измјерену вриједност електричне величине или догађај генерисан од стране паметног бројила. У првом случају обрада се завршава након филтрирања, порука се сачува и директно пропагира сервисима од интереса. Уколико је догађај у питању, након филтрирања наставља се даља обрада. Параметар профилне конфигурације који ће даље бити описан јесте *stewing* период. *Stewing* представља временски период у ком се обрада паузира и догађај се привремено смјешта у *stewing* табелу, у супротном се обрада завршава и уписује се у базу која садржи посљедње измјерене вриједности са паметног бројила. Прије покретања *stewing* периода и смјештања у табелу, провјерава се да ли у њој већ постоји догађај истог или супротног типа који је стигао са истог паметног бројила. Посматра се сљедећи сценарио: са бројила стигне догађај типа *POWER_DOWN* који представља нестанак напајања, а недуго затим и *POWER_UP* са истог бројила, односно повратак напајања, догађаји су супротног типа и представљају краткотрајан прекид. Уколико у табели постоји супротан догађај, оба догађаја се архивирају и са њиховом обрадом се не наставља. На овај начин се избјегава оптерећивање система у случају краткотрајних прекида. Без *stewing* периода оба догађаја би била обрађена и прослијеђена сервисима и корисничким апликацијама од интереса. Прекид напајања је трајао превише кратко да би био од значаја тим сервисима те се зато овакви догађаји занемарују. У случају да у табели већ постоји догађај истог типа са истог паметног бројила, нови догађај се архивира, а за стари се даље чека истек *stewing* период. Нпр. уколико са паметног бројила стигне догађај који указује на нестанак напајања, а затим исти догађај са истог паметног бројила, довољно је обрадити само један од њих јер је сваки наредни сувишан и не даје никакве нове информације од значаја. Уколико у табели не постоји исти или супротан тип догађаја са тог паметног бројила, догађај се уписује у табелу и за њега се покреће *stewing* период. Након истека тог периода догађај се брише из табеле, уколико није већ претходно обрисан, и његова обрада се наставља. Обрађивање велике количине података је захтјевно и често немогуће те овакав вид филтрирања има посебан значај приликом елементарних непогода када велики број догађаја (истог или супротног типа) стиже са паметних бројила. Даље се

провјерава да ли је омогућено задржавање тог типа догађаја. Када задржавање није омогућено тада се догађај одмах прослијеђује заинтересованим странама, у супротном се смјешта у привремену базу података из које се пребацује у трајну базу након истека предефинисаног временског периода. Корисник има увид у листу задржаних догађаја и могућност да уклони догађаје са листе. Тек при уклањању са листе, догађаји тог типа који се налазе у привременој бази се пропагирају заинтересованим странама.



Слика 7. Обрада долазних порука на SMMS-у

3 Формулација проблема

У уводу је описан значај непрестаног и квалитетног снабдијевања електричном енергијом за човјечанство. Сваки прекид у испоруци доводи до значајних губитака. Испад је сваки непланирани догађај који узрокује искључење опреме у мрежи или прекид струјног кола, аутоматски или ручно, као одговор на аларм. Испадни могу настати из многих разлога као што су кварови опреме, злонамјерна оштећења, људске грешке или временске непогоде. Када настану временске непогоде, неизбјежни нестанци струје почињу да се јављају због поремећаја напајања електричном енергијом. У неким случајевима напајање се прекида али и аутоматски враћа другим путем, док у осталим случајевима повратак напајања настаје тек након детекције испада и рестаурације.

У нормалним временским условима, кварови узроковани временом су ријетки и немају значајан утицај на снабдијевање електричном енергијом. У таквим случајевима обично се ради о једном мањем испаду који, или утиче на мањи број потрошача, или уопште не утиче на поуздано снабдијевање електричном енергијом.

У екстремним временским условима јављају се вишеструки испади и мрежа може да претрпи значајна физичка оштећења. Као посљедица тога многи потрошачи могу остати без напајања и систем не може да се врати у нормално стање одмах по завршетку невремена.

Паметна бројила омогућавају брзу детекцију испада. Прикупљањем и анализирањем информација формира се јасна слика стања система. Уколико велика група бројила у исто вријеме шаље догађаје о испадима, то обично указује на оштећење самог фидера на који су повезана бројила. То омогућава лоцирање и анализирање испада много прије него што корисници пријаве нестанак напајања [16].

Са повећањем оптерећења, повећава се и број информација које пристижу са паметних бројила што може узроковати велико кашњење у комуникацији као и губитак података и довести до вишеструких грешака и погрешне координације заштите. Такође, долази до проблема приликом обраде свих информација. Удаљеност између концентратора и система може бити врло велика, те све информације морају проћи ту велику удаљеност да би стигли до система за обраду. Међутим, постоје информације које нису од значаја приликом невремена, па пренос свих информација резултира расипањем огромне количине комуникацијских ресурса. Проблем лежи у томе како се носити са великом количином „*last gasp*” порука које означавају престанак напајања, те је стога неопходан ефикасан алгоритам за идентификацију локације испада на основу вишеструких порука овог типа [18].

Као што је већ споменуто, профилна конфигурација у оквиру SMMS система има два подразумијевана профила додијељена дијеловима мреже у зависности од временских услова, нормални и олујни. Нормални профил је подразумијевани профил који је додијељен цијелој мрежи, чији се конфигурабилни параметри могу подешавати ручно од стране корисника. Конвенционално рјешење је имплементирано тако да када наступе временске непогоде, корисник ручно из клијентске апликације додјељује олујни профил дијелу мреже који је под утицајем невремена. Постављање активног профила зависи од корисника који управља клијентском апликацијом што може довести до људских грешака и има утицај на правовремену реакцију која може бити кључна у екстремним временским условима.

Сви дијелови мреже којима је додијељен олујни профил имају исте параметре по којима се обрађују догађаји пристигли са паметних бројила која се налазе у тим дијеловима. Међутим, поставља се питање да ли је то добра пракса с обзиром на то да различити фидери могу имати различите карактеристике. Фидери погођени олујом не морају бити на истој удаљености од система за управљање догађајима што доводи до тога да догађаји са различитих фидера могу имати различита времена кашњења. Такође, неки фидери имају већи значај од других, док неки генеришу много већи број догађаја од других у зависности од тежине испада.

Када се све претходно наведено узме у обзир долазимо до закључка да би једно од унапређења конвенционалног рјешења могло бити аутоматско креирање профила засебно за сваки фидер, или за групу фидера са истим карактеристикама, које не зависи од корисника апликације. Сходно томе, једно од рјешења би било аутоматизовати систем тако да сам дође до сазнања да је дошло до временских неприлика на основу броја догађаја и времена кашњења, те сам генерише адекватан профил за фидер. На тај начин ће се догађаји са фидера обрађивати на њима одговарајући начин, односно у зависности од њихове фреквенности и кашњења. Циљ овог рјешења јесте повећање исправности обраде података, смањење оптерећења сервиса који користе обрађене догађаје, као и смањење губитака и грешака приликом обраде. Такође један од главних циљева јесте смањење зависности обраде догађаја, односно креирања и додјеливања профила, од корисника апликације. У наредном поглављу слиједи опис предложеног рјешења.

пад/повећање напона испод/изнад претходно дефинисане границе. Класа *EventType*, садржи три параметра, а то су *Name*, *NumOfDelayedEvents*, *AverageDelay*. Поље *Name* означава тип догађаја који може бити *Power*, *Undervoltage* или *Overvoltage*. Уколико је разлика између времена када је догађај генерисан и времена када је примљен на систем већа од претходно дефинисане, то означава кашњење догађаја. Број таквих догађаја истог типа са истог фидера је означен пољем *NumOfDelayedEvents*. Сходно томе, просјечно кашњење таквих догађаја је израчунато и представљено са *AverageDelay*.

Главна намјена апликације јесте да на детектовано „ненормално понашање” паметних бројила (када шаљу велики број догађаја) реагује динамичком промјеном профилне конфигурације у оквиру SMMS-а. Слиједи анализа примљених информација и уколико се детектује да је на фидеру дошло до проблема, приступа се бази података и провјерава да ли за тај фидер већ постоји профил. Уколико не постоји, креира се нови профил. У профилу се између осталог подешава и који типови догађаја су дозвољени/забрањени чиме се дефинише њихов приоритет и смањује број догађаја. Подразумијевана вриједност *stewing* параметра јесте 30 секунди што значи да уколико у том периоду не стигну два догађаја са истог бројила супротних типова оба се архивирају и њихова обрада се зауставља.

Проблем настаје приликом загушења комуникационих канала. Кашњење информација у току временских непогода, може узроковати да догађај не стигне на сервис за вријеме *stewing* периода иако је генерисан у том периоду, што може довести до обрађивања оба догађаја супротног типа са истог бројила те самим тим повећати број обрађених и пропагираних догађаја и оптеретити друге сервисе. Информација о просјечном кашњењу догађаја је значајна јер се то вријеме додаје на подразумијевану иницијалну вриједност од 30 секунди. На тај начин се параметар *stewing* динамички мијења у зависности од тога колико догађаји касне. Са повећањем/смањењем кашњења повећава/смањује се и *stewing* период. Овим се обезбјеђује да фидери са различитим временским кашњењем догађаја имају додијељене профиле са различитим конфигурацијама. Ако фидер већ садржи профил, његов *stewing* параметар се ажурира и уколико се просјечно кашњење догађај са тог фидера промијенило слиједи позив ка SMMS-у за ажурирање промијењеног профила. Након креирања профила позива се метода на SMMS-у којом се профил додјељује одговарајућем фидеру, а затим слиједи још један позив ка сервису којим се мијења активни режим профила над тим фидером, односно умјесто нормалног новокреирани профил постаје активан. Када апликација установи да су непогоде прошле, односно региструје смањење броја догађаја који пристижу на сервис и смањење њиховог кашњења, након пет минута устаљеног нормалног режима фидеру враћа нормалан профил као активан.

Развијањем *SmartConfiguration* апликације је обезбијеђена независност система од корисника и аутоматска реакција на промјене у пољу узроковане временским неприликама.

5 Тестирање

Тестирање перформанси сервиса је извршено на рачунару, односно виртуелној машини следећих перформанси:

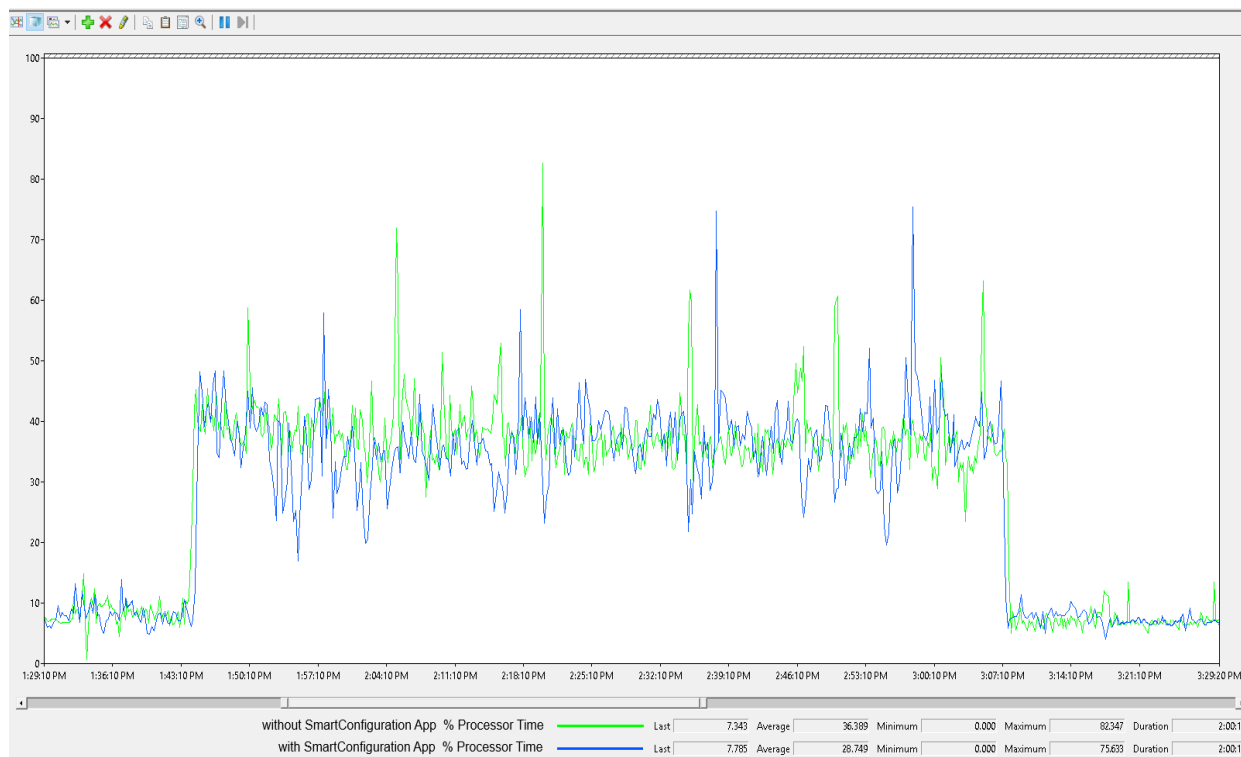
- процесор: Intel i3-3210 CPU @ 3.20 GHz и
- меморија: 32GB (26000MB додијељено виртуелној машини).

За потребе тестирања сматра се да је позната топологија мреже и узете су следеће референтне вриједности гдје је очекивано да имамо 10 милиона паметних бројила у моделу мреже што је еквивалентно броју корисника. Нормалан режим рада представља генерисање у просјеку 10 догађаја у секунди, док се у екстремним временским условима у просјеку генерише 10 пута више, односно 100 догађаја у секунди.

У наставку ће бити приказан утицај апликације на перформансе SMMS система у случајевима праве олује као и лажних узбуна. Посматране су перформансе SMMS-а у два случаја, без и са покренутим имплементираним рјешењем.

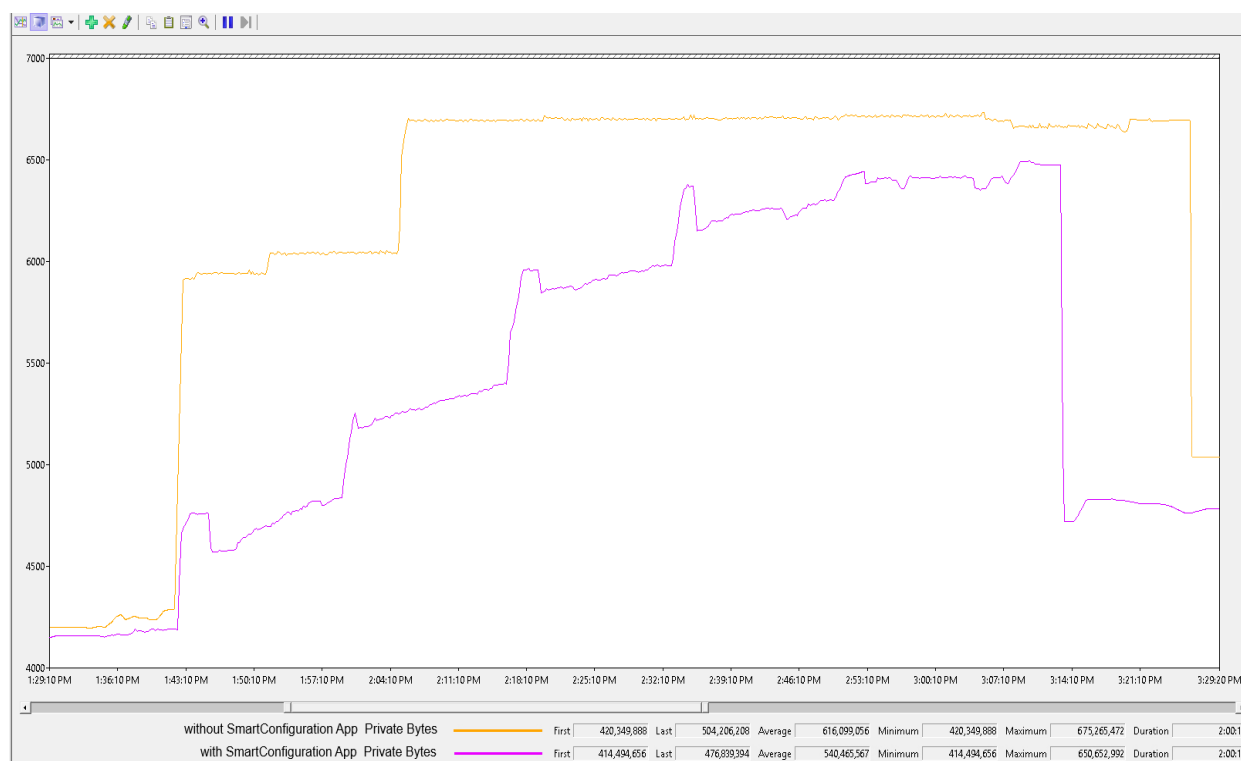
У циљу потврде функционалности апликације прво ће бити приказани резултати у случајевима симулације праве олује, односно невремена које траје дужи временски период. За симулацију слања догађаја коришћен је симулатор генерисања случајних догађаја. Посматрање перформанси система омогућава алат *Microsoft Windows Performance Monitor* који приказује утицај програма који раде на рачунару на перформансе рачунара. Прати разне активности на рачунару и даје преглед коришћења меморије система, мреже, процесорског времена итд. Може се користити у реалном времену, а такође и за прикупљање информације за касније анализирање података.

Први сценарио који је тестиран представља симулацију у укупном временском периоду од 120 минута гдје се прво симулира 15 минута нормалног режима рада, након чега слиједи 85 минута олујног, а по завршетку олује још 20 минута нормалног режима рада.



Слика 9. Оптерећење процесора од стране SMMS сервиса (без и са покренутим имплементираним рјешењем, представљено зеленом и плавом бојом респективно) у временском периоду од 120 минута

Праћено је оптерећење процесора (%) од стране SMMS сервиса у два случаја, када *SmartConfiguration* апликација није покренута и када јесте. Прво разматрамо случај оптерећења процесора без утицаја апликације на сервис, што је представљено зеленом бојом на слици 9. За вријеме симулације нормалног режима рада, односно када се генерише просјечно 10 догађаја у секунди на паметним бројилима, оптерећење процесора варира између 5-13% као што се може видјети на слици. Примјетан је велики скок оптерећења у тренутку када креће симулација олује због тога што сада на сервис стиже знатно већи број догађаја. Оптерећење процесора сада варира између 30-45%. Након завршетка олује оптерећење процесора опада и враћа се на вриједности које су карактеристичне за нормалан режим рада. Плавом бојом је представљено оптерећење процесора када је покренута апликација. За вријеме симулације нормалних временских услова великих одступања нема нити треба да буде с обзиром на то да је циљ апликације да реагује само на абнормална понашања. Међутим, приликом симулације олује оптерећење процесора расте али сада просјечно варира између 25-40%. Просјечно оптерећење процесора када апликација није покренута износи $\approx 36\%$ док та вриједност износи $\approx 28\%$ када је апликација покренута. Из тога се закључује да је просјечно оптерећење процесора смањено за $\approx 8\%$ што указује на побољшање перформанси сервиса.



Слика 10. Заузеће меморије од стране SMMS сервиса (без и са покренутим имплементираним рјешењем, представљено наранџастом и љубичастом бојом респективно) у временском периоду од 120 минута

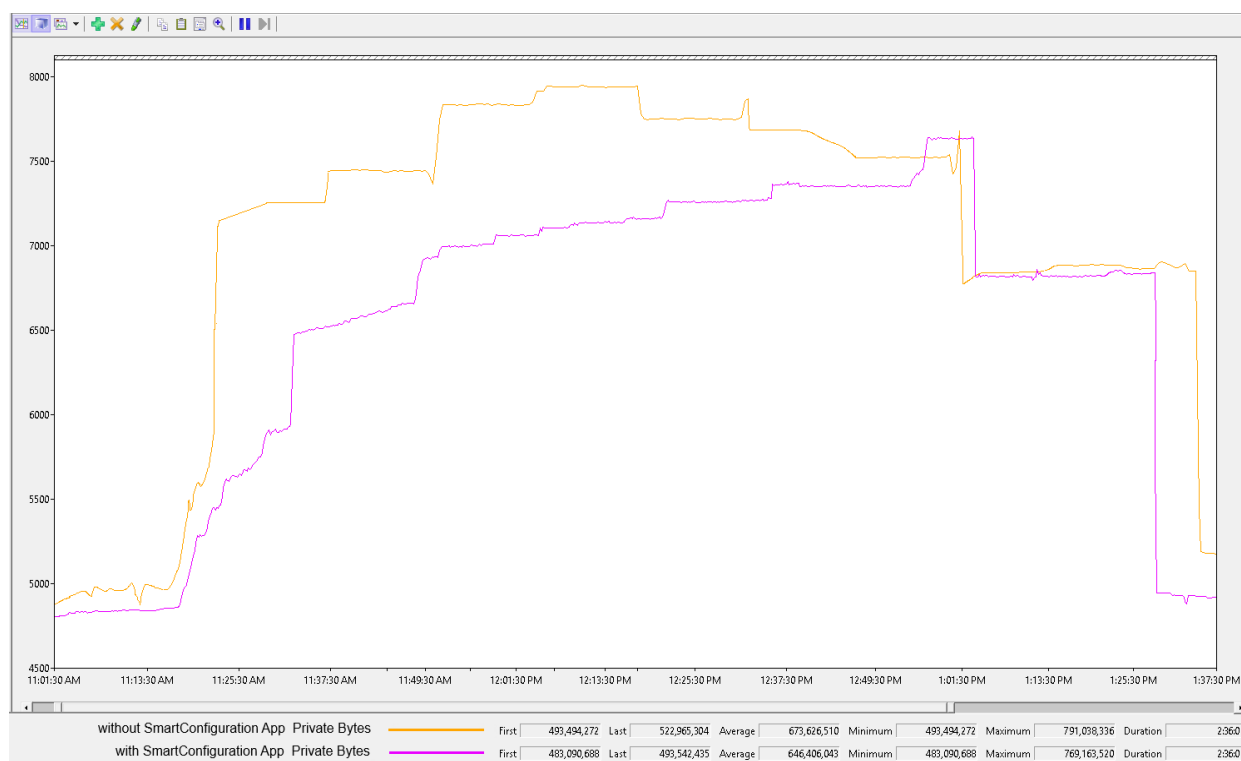
За исти сценарио симулације се посматра заузеће меморије на слици 10. Наранџастом бојом је представљено заузеће меморије од стране SMMS сервиса када апликација није покренута, док је љубичастом представљено заузеће меморије када апликације јесте покренута. За оба случаја на графику се јасно види раст заузећа меморије за вријеме трајања симулације олује као и њен пад по завршетку. Прво се посматра случај када апликација није покренута и тада максимално заузеће меморије износи $\approx 6750\text{MB}$, а почетна вриједност износи $\approx 4200\text{MB}$ што представља скок од $\approx 2550\text{MB}$. Просјечно заузеће меморије износи $\approx 6160\text{MB}$. У случају када је апликација покренута максимално заузеће меморије износи $\approx 6500\text{MB}$, док је почетна вриједност $\approx 4150\text{MB}$ што значи да скок износи 2350MB , а просјечно заузеће је $\approx 5400\text{MB}$. Како је $2350 < 2550$ долази се до закључка да је скок мањи када је апликација покренута као и просјечно заузеће меморије јер је $5400 < 6160$, односно да су перформансе сервиса унапријеђене са имплементираним рјешењем. Како апликација омогућава боље филтрирање и смањује број догађаја који се обрађују, на слици се јасно види да заузеће меморије по завршетку олује пада прије када је апликација покренута него када није. Главни разлог за то што велико заузеће меморије дуже траје када апликација није покренута јесте што обрађивање већег броја догађаја захтијева више времена, а самим тим и више ресурса.

Сљедећи сценарио који је тестиран обухвата симулацију нормалног режима рада у временском периоду од 10 минута, након чега слиједи 135 минута олујног, а по завршетку се наставља симулација нормалног режима рада још 10 минута.



Слика 11. Оптерећење процесора од стране SMMS сервиса (без и са покренутим имплементираним рјешењем, представљено зеленом и плавом бојом респективно) у временском периоду од 155 минута

На слици 11 имамо приказ оптерећења процесора у времену. Прво ћемо разматрати случај оптерећења процесора када апликација није покренута што је као и на слици 11 представљено зеленом бојом. Оптерећење процесора у периоду симулације нормалних временских услова просјечно варира између 5-13% као и у претходном тестном случају. Јасно се може закључити у ком тренутку креће симулација олује јер оптерећење сервиса нагло скаче за 30-40%. Број догађаја које сервис треба да обради је много већи што захтијева и више ресурса. За вријеме трајања олује оптерећење процесора просјечно варира између 40-55%. По завршетку олује оптерећење процесора пада на вриједности од 5-13% што је и очекивано оптерећење у нормалним временским условима. Просјечно оптерећење процесора за овакав тестни случај износи $\approx 39\%$. Плавом бојом је приказано оптерећење процесора са покренутим имплементираним рјешењем. Када крене симулација олује, оптерећење процесора опет значајно скаче али за нешто мањи проценат. Током трајања олује оптерећење процесора у просјеку износи између 30-45% што је за око 10% мање него у претходном случају. Просјечно оптерећење процесора сада износи $\approx 32\%$. Долази се до закључка да је просјечно оптерећење процесора смањено за $\approx 7\%$, односно да су перформансе сервиса унапријеђене са имплементираним рјешењем.



Слика 12. Заузеће меморије од стране SMMS сервиса (без и са покренутим имплементираним рјешењем, представљено наранџастом и љубичастом бојом респективно) у временском периоду од 155 минута

На слици 12 приказано је заузеће меморије за други тестни случај. Као и у претходном случају, наранџастом бојом је представљено заузеће меморије од стране SMMS сервиса када апликација није покренута, док је љубичастом представљено заузеће меморије када апликације јесте покренута. Раст заузећа меморије је примјетан приликом симулације олује. Максимално заузеће меморије када апликација није покренута износи $\approx 7910\text{MB}$, а почетна вриједност $\approx 4930\text{MB}$ што представља скок од $\approx 2880\text{MB}$. Просјечно заузеће меморије износи $\approx 6730\text{MB}$. У случају када је апликација покренута максимално заузеће меморије износи $\approx 7690\text{MB}$, док је почетна вриједност заузећа $\approx 4830\text{MB}$ што значи да скок износи 2860MB . Разлика у скоку није велика, али просјечно заузеће меморије када је апликација покренута износи $\approx 6460\text{MB}$ што је мање од 6730MB , односно од просјечног заузећа када апликација није покренута. Као и у претходном случају, долази се до закључка да су перформансе сервиса унапријеђене.



Слика 13. Количина догађаја пристиглих на сервис, представљено плавом бојом, и пропагираних другим сервисима (без и са покренутим имплементираним рјешењем, представљено зеленом и црвеном бојом респективно) у трајању од 155 минута

Поред оптерећења процесора и заузећа меморије, посматрано је и колико SMMS догађаја пропагира другим сервисима и корисничким апликацијама, без и са апликацијом. На слици 13, плавом бојом је приказан број догађаја који пристижу на сервис у секунди. Зеленом је приказано колико је догађаја од пристиглих прослијеђено када апликација није покренута, а црвеном када јесте. За вријеме симулације нормалних временских услова, нема разлике у количини догађаја који се прослијеђују јер, као што је већ претходно споменуто, апликација има утицај на сервис само приликом екстремних временских услова. У оквиру приказаног теста на сервис у просјеку стиже 100 догађаја у секунди, од чега се ≈ 90 прослијеђује даље када апликација није покренута. За исте податке се у просјеку прослијеђује приближно 80 догађаја у секунди када апликација јесте покренута. Када се узме у обзир да олуја може трајати дужи временски период долази се до велике разлике у броју догађаја који се прослијеђују даље без и са апликацијом. У овом случају просјечан број догађаја који стигне на сервис за вријеме олује (135 минута) износи ≈ 810 хиљада, број догађаја који се прослиједи без апликације је ≈ 729 хиљада, а са апликацијом ≈ 648 хиљада. Смањење броја догађаја који се пропагирају смањује оптерећење сервиса који користе те податке, као и корисничких апликација, и обезбјеђује исправнију обраду података.

Постоје случајеви у којима може доћи до забуне и систем као невријеме може препознати неки краткотрајни испад. Због тога је потребно тестирати и на који начин у таквим ситуацијама рад апликације утиче на перформансе система.

Сљедећи сценарио тестирања укључује десет минута симулације нормалног режима, затим пет минута „лажних“ екстремних услова, те након тога поново слиједи симулација нормалног режим. Тестирано је какав утицај на перформансе има и брзина реаговања апликације на промјене у пољу. Три случаја су тестирана, а то су реаговање апликације одмах након детекције промјена, затим након 3 и 5 минута. Резултати су приказани у Табели 1 гдје параметар τ представља вријеме протекло од детекције невремена до реаговања на промјене.

Табела 1. Перформансе сервиса за вријеме симулације „лажних“ екстремних услова

τ [min]	avg CPU [%]	max mem [MB]	min mem [MB]	avg mem [MB]
Без апликације	15,25	5100	4660	4820
0	13,73	4750	4230	4490
3	13,32	5040	4480	4950
5	18,10	5560	4610	5090

Као што се може видјети у Табели 1 разлике у оптерећењу процесора, са и без утицаја апликације на SMMS, су мале и нису од великог значаја. Различити временски периоди дјеловања апликације након детекције проблема такође немају већи утицај на перформансе, осим случаја када апликација дјелује након 5 минута што доводи до благог нарушавања перформанси. Када се посматра заузеће меморије у Табели 1, разлика у скоковима износи 440MB, 520MB, 560MB, 950MB, респективно. Очигледно је да је најгори случај када апликација реагује тек након 5 минута, како за оптерећење процесора тако и за заузеће меморије. С обзиром на то да за вријеме „лажних“ екстремних услова већих разлика у перформансама нема, као крајње рјешење узима се да апликација дјелује одмах по детекцији јер је за вријеме стварних временских непогода сваки минут од значаја.

6 Закључак

У овом раду је описан начин на који се догађаји генерисани на паметним бројилима преносе до система за њихово управљање и колико значајну улогу имају у процесу детектовања испада приликом елементарних непогода. Предложено је рјешење за унапређење обраде догађаја у екстремним временским условима у систему за управљање паметним бројилима.

На основу тестирања перформанси посматраног система долази се до закључка да имплементирано рјешење побољшава перформансе рада SMMS-а за вријеме стварних или лажних узбуна у виду смањења оптерећења процесора, као и заузећа меморије од стране SMMS сервиса. Теоријски, на овај начин се смањује и оптерећење других сервиса јер се смањује количина догађаја која им се прослијеђује. Међутим, тестирање перформанси сервиса којима SMMS прослијеђује податке излази из оквира теме овог рада. Даљим радом би се могла испитати ефикасност предложеног рјешења над мањим али и већим, комплекснијим мрежама.

Предложено рјешење се даље може проширити тако да се редукује број позива ка SMMS-у, што захтјева модификацију апликације али и самог система. Тренутно су потребна два позива, први за креирање/ажурирање профила, а други за постављање активног профила што успорава рад и апликације као и SMMS-а. Мана апликације јесте што је ограничена само на SMMS сервис. Креирање генеричке апликације, односно апликације која ће моћи да се повеже и са другим сервисима би био значајан напредак који би омогућио ширу примјену апликације. Још једно од унапређења би свакако било додавање нових стратегија за начин обрађивања података као и филтрирања у циљу повећања тачности и брже детекције испада.

7 Литература

- [1] др Владимир Ц. Стрезоски, „Основи електроенергетике”, *Факултет техничких наука у Новом Саду*, 2019.
- [2] Jesús García Prado, Ana González and Sandra Riaño, „Adopting smart meter events as key data for low-voltage network operation”, *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 924 - 928, 2017.
- [3] Vehbi C. Gungor, Bin Lu and Gerhard P. Hancke, „Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 10, pp. 3557 -3564, 2010.
- [4] S. Massoud Amin and B.F. Wollenbergatrick, „Toward a smart grid: power delivery for the 21st century”, *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 3, no. 5, pp. 34 – 41, 2005.
- [5] Patrick McDaniel and Stephen McLaughlin, „Security and Privacy Challenges in the Smart Grid”, *IEEE Security & Privacy*, vol. 7, no. 3, pp. 75 – 77, 2009.
- [6] https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html *Smart Grid* (приступљено у октобру 2019.)
- [7] Chenthamarai Selvam, Kota Srinivas, G.S. Ayyappan and M. Venkatachala Sarma, „Advanced metering infrastructure for smart grid applications”, *2012 International Conference on Recent Trends in Information Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 464 – 479, 2016.
- [8] Enrico Valigi, Eugenio Di Marino, „Networks optimization with advanced meter infrastructure and smart meters”, *CIREN – 20th International Conference on Electricity Distribution*, 2009.
- [9] Xi Fang, Satyajayant Misra, Guoliang Xue and Dejun Yang, „Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944 – 980, 2011.
- [10] Qie Sun, Hailong Li, Zhanyu Ma, Chao Wang, Javier Campillo, Qi Zhang, Fredrik Wallin, Jun Guo, „A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks”, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 4, pp. 464 – 479, 2016.
- [11] Ramyar Rashed Mohasel, Alan Fung, Farah Mohammadi and Kaamran Raahemifar, „A survey on Advanced Metering Infrastructure”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63, pp. 473 – 484, 2014.
- [12] Samuel Bimenyimana and Godwin Norensa Osarumwense Asemota, „Traditional Vs Smart Electricity Metering Systems: A Brief Overview”, *Journal of Marketing and Consumer Research*, vol. 46, 2018.
- [13] Gouri R. Barai, Sridhar Krishnan and Bala Venkatesh, „Smart Metering and Functionalities of Smart Meters in Smart Grid - A Review”, *2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2015.
- [14] <https://www.w3.org/TR/1999/REC-rdf-syntax-19990222/> *Resource Description Framework* (приступљено у октобру 2019.)
- [15] SmartGrid.gov, U.S. Department of Energy, *Operations and Maintenance Savings from Advanced Meters Infrastructure - Initial Results*, 2012.
- [16] <https://www.nema.org/Storm-Disaster-Recovery/Smart-Grid-Solutions/Pages/Smart-Meters-and-Disaster-Recovery.aspx> *Smart Meters and Disaster Recovery* (приступљено у октобру 2019.)
- [17] IEC 61968-9 Ed.1: *Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management - Part 9: Interfaces for meter reading and control*
- [18] Yazhou Jiang, Chen-Ching Liu, Michael Diedesch, Erik Lee and Anurag K. Srivastava, „Outage Management of Distribution Systems Incorporating Information From Smart Meters”, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 31, no 5, pp. 4144 – 4154, 2015.

- [19] R.J. Campbell, *Weather-related power outages and electric system resiliency*, 2013.
- [20] Sinan Küfeoğlu, *Economic Impacts of Electric Power Outages and Evaluation of Customer Interruption Costs*, 2015.
- [21] <https://www.bloomenergy.com/blog/a-day-without-power-outage-costs-businesses>
Outage costs for business (приступљено у октобру 2019.)
- [22] David M. Ward, *The effect of weather on grid systems and the reliability of electricity supply*, 2013.
- [23] Hugh Rudnick, *Impact of Natural Disasters on Electricity Supply*, 2011.
- [24] Guan Haishuang, Qu Liping and Yu Demin, „Research on the Fast Power Restoration Strategy of Distribution Network Based on MAPSO”, *2017 International Conference on Smart City and Systems Engineering (ICSCSE)*, 2017.
- [25] R.Acra and M.Thaker, „Internet Standards Come to the Advanced Metering Infrastructure”, *Electric Energy T&D Magazine*, pp. 36-39, 2010.

Подаци о кандидату



Марина Бобар је рођена 12.01.1996. године у Власеници, Република Српска. Основну школу „Вук Караџић” завршава 2010. године и уписује општу гимназију у средњошколском центру „Милорад Влачић”, такође у Власеници. Средњу школу завршава 2014. године и исте године уписује Факултет техничких наука у Новом Саду, смјер Електроенергетски софтверски инжењеринг, одсјек Електротехника и рачунарство. Основне студије завршава 2018. године те затим на истом факултету уписује мастер студије, смјер Примењено софтверско инжењерство.