

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Милош Б. Раденковић

МОДЕЛ ЕЛЕКТРОНСКОГ ПОСЛОВАЊА
ЗА УЧЕШЋЕ ПОТРОШАЧА НА
СРПСКОМ ТРЖИШТУ ЕЛЕКТРИЧНЕ
ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАН НА *SMART GRID*
ТЕХНОЛОГИЈАМА

Докторска дисертација

Београд, 2018.

UDK: 004.738.5:621.316

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Miloš B. Radenković

AN E-BUSINESS MODEL FOR THE
PARTICIPATION OF HOUSEHOLDS IN
THE SERBIAN ELECTRICITY MARKET
BASED ON SMART GRID
TECHNOLOGIES

Doctoral dissertation

Belgrade, 2018.

UDK: 004.738.5:621.316

Ментор:

др Александра Лабус,
доцент Факултета организационих наука Универзитета у Београду

Чланови комисије:

др Маријана Деспотовић Зракић,
ред. проф. Факултета организационих наука Универзитета у Београду

др Зорица Богдановић,
ванр. проф. Факултета организационих наука Универзитета у Београду

др Саша Лазаревић,
ванр. проф. Факултета организационих наука Универзитета у Београду

др Ненад Стефановић,
ванр. проф. Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу

Датум одбране: _____

МОДЕЛ ЕЛЕКТРОНСКОГ ПОСЛОВАЊА ЗА УЧЕШЋЕ ПОТРОШАЧА НА СРПСКОМ ТРЖИШТУ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗАСНОВАН НА *SMART GRID* ТЕХНОЛОГИЈАМА

Апстракт:

Предмет истраживања дисертације је развој модела електронског пословања заснованог на флексибилном учешћу потрошача на српском тржишту електричне енергије. Циљ је развој одрживог и применљивог модела електронског пословања који омогућава учешће домаћинстава и појединачних уређаја на балансном тржишту и на берзи електричне енергије коришћењем *smart grid* технологија и *demand-response* сервиса. Учествовањем појединачних домаћинстава и уређаја у балансном тржишту омогућава се прецизна контрола фреквенције електроенергетског система, што отвара могућности за експлоатацију обновљивих извора електричне енергије преко флексибилнијег и тачнијег управљања флукуацијама. Тржишта електричне енергије традиционално функционишу по В2В моделу електронског пословања где се пословање врши искључиво између произвођача и оператора тржишта. Дерегулација отвара нове могућности пословања за тржишта електричне енергије, претежно за домаћинства чијом се инклузијом у великој мери може повећати флексибилност и ефикасност механизма балансирања и целокупна стабилност електроенергетске мреже. Пословни модел предложен у овој дисертацији прилагођен је пословном окружењу и регулативи у Републици Србији. Предложена техничка спецификација модела састоји се од дистрибуиране инфраструктуре за повезивање и координацију великог броја корисничких IoT уређаја. За прикупљање, анализу и управљање подацима у реалном времену користе се аналитичке методе и софтверски алати базирани на пословној интелигенцији. Предност предложеног модела је у могућности примене на тржиштима електричне енергије која су у развоју, ниским иницијалним инвестицијама и интеграцији са *smart grid* технологијама. У дисертацији су приказани истраживање и анализа спремности потрошача и учесника на тржишту, за примену предложеног модела.

Кључне речи: електронско пословање, учешће потрошача на тржишту електричне енергије, паметне електроенергетске мреже, *smart grid*, *demand-response*, интернет интелигентних уређаја, IoT, пословна интелигенција.

Научна област: Информациони системи и технологије.

Ужа научна област: Електронско пословање.

AN E-BUSINESS MODEL FOR THE PARTICIPATION OF HOUSEHOLDS IN THE SERBIAN ELECTRICITY MARKET BASED ON SMART GRID TECHNOLOGIES

Abstract:

The subject of this thesis is the development of an e-business model based on flexible participation of households in the Serbian energy market. The goal is the development of a sustainable and suitable e-business model that enables households as well as individual devices to participate in the balancing market as well as the energy exchange through the use of smart grid concepts and demand response technologies. By enabling the participation of individual households in the balancing market, a new mechanism for frequency control of energy grids is possible, which allows for the future adoption of renewables. Energy markets are traditionally B2B e-business models, which facilitate for business processes between the energy producers and the system operators. With the deregulation of energy markets, new ways of doing business are becoming possible, primarily for households for whom the participation in the market allows for greater flexibility and efficiency in the balancing mechanism and the potential to improve the stability of the energy grid as a whole. The business model proposed in this dissertation is based on the business rules as well as regulations that are currently in place in the Republic of Serbia. The implementation of the technical segment of the model is based on the design of a distributed infrastructure for the coordination of a large number of individual users and devices with the goal of providing demand response services to the energy market. Business intelligence tools, as well as analytical models, will be used for the purpose of data extraction and analysis as well as to manage the system in real time. The advantage of the proposed model is in the fact that it is adapted for energy markets that are still in development, as well as its capability to adapt to new technological trends and its integration with smart grid technologies. The dissertation gives the analysis of readiness of customers and market participants for the application of the proposed model.

Key words: E-business, Energy market participation, Smart grid, demand-response, Internet of Things, Business Intelligence.

Scientific field: Information systems and technologies

Scientific subfield: E-business

САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
1.1. Полазне хипотезе.....	5
1.2. Методе истраживања	6
2. Анализа оквира за електронско пословање у паметним електроенергетским мрежама .	8
2.1. Традиционалне електроенергетске мреже	8
2.2. Концепти и структура паметних електроенергетских мрежа	10
2.2.1. Паметно мерење електричне енергије.....	13
2.2.2. Инфраструктура паметне електроенергетске мреже	15
2.2.3. Дистрибуирана производња и микромреже	18
2.2.4. Електрична возила	20
2.2.5. Пословни модели и тржишта електричне енергије	21
2.2.6. Складиштење и аналитика података у паметним електроенергетским мрежама.....	23
2.2.7. Сигурност и приватност у паметним електроенергетским мрежама	28
2.2.8. Оквир за имплементацију паметних електроенергетских мрежа.....	29
2.3. Тржишта електричне енергије	32
2.4. Балансна тржишта и помоћни сервиси.....	38
2.4.1. Контигенције	40
2.4.2. Класификација помоћних сервиса.....	43
2.4.3. Пословање на балансном тржишту	48
2.4.4. Цене на балансном тржишту.....	55
2.5. Берзе електричне енергије	59
2.6. <i>Demand-response</i>	59
3. Развој модела електронског пословања за учешће потрошача на тржишту електричне енергије	78
3.1. Анализа постојећих модела	78
3.2. Анализа регулационог оквира.....	81
3.3. Пословни модел.....	82
3.3.1. Спецификација <i>demand-response</i> сервиса у предложеном пословном моделу	85
3.3.2. Организациони и технички детаљи пројекта	88
3.3.3. Спецификација архитектуре решења	94
3.4. Модел пословних процеса	96
3.5. Моделирање архитектуре система.....	98
3.6. Моделирање IoT инфраструктуре и софтверских сервиса	100
3.7. Моделирање система за извештавање	103
3.8. Оквир евалуације и имплементације предложеног модела.....	109
4. Анализа спремности за учешће у <i>demand-response</i> сервисима на српском тржишту електричне енергије	111
4.1. Теоријски оквир.....	111

4.2. Анализа спремности потрошача за учешће на српском тржишту електричне енергије	116
4.2.1. Инструменти.....	119
4.2.2. Узорак	120
4.2.3. Анализа мотива за учешће у <i>demand-response</i> сервисима.....	122
4.2.4. Анализа поверења у оператора тржишта.....	129
4.2.5. Анализа заинтересованости за сервисе балансног тржишта	135
4.3. Анализа спремности оператора тржишта	137
4.4. Дискусија.....	139
5. Научни и стручни доприноси	143
5.1. Верификација научних доприноса.....	144
6. Будућа истраживања.....	145
7. Закључак	146
8. Референтна литература.....	147
9. Списак слика и табела	158
10. Биографија аутора.....	162

1. Увод

Предмет истраживања дисертације је развој модела електронског пословања заснованог на флексибилном учешћу потрошача на српском тржишту електричне енергије. Циљ рада је развити одржив и применљив модел електронског пословања који омогућава учешће домаћинстава и појединачних уређаја на балансном тржишту и на берзи електричне енергије коришћењем концепата паметних електроенергетских мрежа *smart grid* и *demand-response* приступа (у слободном преводу: респонзивна потражња електричне енергије). Модел је децентрализованог карактера. Компоненте модела функционишу по *plug-and-play* механизму због лаког прилагођавања будућем развоју електроенергетске мреже и променама регулативе на српском тржишту електричне енергије. Учествовањем појединачних домаћинстава и уређаја у балансном тржишту омогућава се фина контрола фреквенције електроенергетског система, што отвара нове могућности за експлоатацију обновљивих извора електричне енергије, преко квалитетнијег и тачнијег управљања флукуацијама. На овај начин, појединачни корисници постају део друштвено-одговорног пословања у електроенергетским мрежама. Повећањем удела корисника у функционисању електроенергетске мреже, фокус пословања се помера са В2С на С2В моделе електронског пословања који су засновани на учешћу потрошача и на сервисима које потрошачи могу да понуде мрежи.

Енергетски сектор представља основ за одрживи економски раст држава, због чега је одувек тежио ка вертикално интегрисаном моделу и стриктној регулацији од стране државе. Наглим развојем технологија и нових економских концепата појављују се нови начини пословања и гране привреде које је потребно подржати. Овај нагли развој је проузроковао велики јаз у пословању између енергетског сектора, који је традиционално комуналног карактера, и других комерцијалних сектора у држави. Како би се смањило пословни и технолошки јаз потребно је прилагодити енергетски сектор комерцијалном окружењу, са крајњим циљем потпуне комерцијализације и интеграције. Дерегулација и реструктурирање енергетског сектора довели су до нових могућности као што су модели тржишта и берзи електричне енергије и коришћење модерних концепата и технологија електронског пословања, попут *demand-response*. Предуслов за постојање модерних тржишта електричне енергије је прелазак са традиционалног на електронско пословање које обухвата сваки од потенцијалних сегмената пословања новог енергетског сектора: В2В, С2В, као и унапређење већ установљеног В2С модела.

Како би се остварио пун потенцијал новог електронског начина пословања, оператори енергетске мреже улазе у процес модернизације и прелазе са стриктно комуналног друштвено корисног модела на модел заснован на комерцијалним електронским сервисима и високом степену аутоматизације. Општи назив за мреже које стреме ка модернизацији и дерегулацији је „паметна електроенергетска мрежа“ (енг. *smart grid*).

Основни предуслов за електронско пословање и друге *smart grid* сервисе је увођење двосмерне комуникације између учесника. У традиционалном виду пословања електроенергетских система присутна је само једносмерна комуникација, која подразумева пренос информација и енергије од оператора ка кориснику, док се у *smart grid* окружењу појављује и могућност да корисник шаље информације и енергију оператору. Двосмерна комуникација отвара могућности примене нових технологија интернета интелигентних уређаја (енг. *Internet of Things*, IoT). IoT уређаји могу комуницирати са оператором мреже и понашати се сходно подацима који су им доступни. Оператор мреже на основу нових токова информација може добити приступ већој количини информација, које се могу анализирати и користити за потребе аутоматизације и предвиђања. Главни циљ двосмерне комуникације је остварење сервисно оријентисаног електронског пословања, преко кога корисници мреже могу учествовати у сервисима електроенергетског система. Најбитнији од ових сервиса представља тржиште електричне енергије.

Због ограничења која поставља електроенергетски систем, тржиште електричне енергије је специфично и знатно другачије од класичних тржишта. Прво ограничење се односи на немогућност управљања током енергије која улази у систем. За тржиште, ово значи да је немогуће знати тачно порекло купљене енергије, нити одредиште продате енергије. Дакле, тржишни систем функционише по принципу „инјекције“ енергије у систем, чиме се уједно и продаје енергија, док се коришћењем енергије истовремено и купује енергија. Друго ограничење се односи на немогућност или велике тешкоће складиштења енергије. Сва енергија која се производи и предаје систему мора бити моментално потрошена. Уколико ово није случај, угрожава се стабилност електроенергетске мреже. Због комбинације ова два ограничења тржиште електричне енергије захтева софистицирани систем усклађивања између произвођача и купаца, како се систем не би дестабилизовао. Двосмерни токови комуникације чине цео процес пријаве производње и потрошње флексибилнијим и ефикаснијим. Тржиште електричне енергије традиционално представља В2В модел пословања, али се у последње време све више тежи ка укључењу домаћинстава и појединачних уређаја у нове В2С и С2В моделе. Нови С2В модели

подразумевају учешће на нивоу појединачних уређаја, што се заснива на примени IoT технологија.

Специфичан тип тржишта електричне енергије, релевантан за потребе овог истраживања, јесте балансно тржиште. Балансно тржиште служи као један од механизма за одржавање стабилности система и сигурности да је производња електричне енергије увек грубо једнака потрошњи. Ово тржиште је од посебног значаја у случајевима квара појединих генератора или далековаода, када је због инхерентне нефлексибилности потражње потребна тренутна инјекција енергије у систем, како би се одржала стабилност. Ово тржиште традиционално функционише по В2В моделу електронског пословања где се пословање обавља искључиво између произвођача и оператора тржишта. Дерегулација отвара нове могућности пословања за ово тржиште, претежно за домаћинства чијом се инклузијом могу у великој мери повећати флексибилност и ефикасност механизма балансирања и стабилност мреже. Вишак произведене енергије домаћинства могу продавати, при чему се продаја врши предавањем енергије у систем. Куповина се може аутоматски обављати потрошњом енергије. Алтернатива овом приступу може се остварити контролисаном употребом уређаја корисника. Под претпоставком да је уређај укључен, искључењем уређаја смањује се потрошња, што се може посматрати и као предаја енергије систему. Слично томе, уколико је уређај искључен, а потребно је ради одржања стабилности система додатно купити електричну енергију, уређај се може укључити. Продаја и куповина електричне енергије у овом контексту могу се вршити зависно од цене на балансном тржишту, и тај вид пословања се назива *demand-response*.

У овој дисертацији је развијен модел електронског пословања чијом применом се омогућава коришћење *demand-response* пословања на српском тржишту. Предложени модел представља покушај формулације пословног модела заснованог на *demand-response* сервисима који функционишу у тржишном окружењу Републике Србије. Технички аспект модела је отвореног карактера и није заснован на специфичним техничким окружењима. Циљ овакве архитектуре је остваривање отворене и дистрибуиране инфраструктуре за повезивање и координацију великог броја корисничких уређаја. Одвојен од техничког модела, али ослањајући се на њега, јесте пословни модел, који је директно везан за пословно окружење и регулативу у Републици Србији. Регулатива и пословна правила се односе на тржишна правила и на правила за учествовање на берзи електричне енергије. Како би се максимизовала корист од оваквог система, потребно је користити информације које су на располагању, где сваки уређај који је део система представља потенцијални извор података. Примена напредне

аналитике и пословне интелигенције је предуслов за ефикасно пословање на оваквом тржишту и омогућава прикупљање и анализу податка на свим нивоима агрегације.

За реализацију оваквог иновативног модела електронског пословања истражене су могућности децентрализације балансног механизма и ефеката даље дерегулације тржишта у Републици Србији. Коначни резултати истраживања указују на могуће унапређење пословања тржишта електричне енергије и постизање веће флексибилности електроенергетског система Републике Србије.

Примарни циљ истраживања је развој иновативног C2B модела електронског пословања за учешће потрошача на српском тржишту електричне енергије. Циљ рада се реализује кроз анализу специфичности српског тржишта и регулативе, те примену развијеног модела на овом тржишту. Циљеви које треба постићи су:

1. Развити модел електронског пословања који омогућује учешће домаћинстава и појединачних уређаја на тржишту електричне енергије Републике Србије.
2. Истражити могућности и ефекте примене иновативних модела електронског пословања на децентрализацију балансног механизма и даљу дерегулацију тржишта.
3. Испитати могућности примене технологија интернета интелигентних уређаја у домаћинствима и њиховог повезивања са ИТ инфраструктуром развијеног модела електронског пословања у сврху учешћа у *demand-response*.
4. Побољшање ефикасности балансног механизма применом развијеног модела електронског пословања.
5. Стабилнији рад електроенергетског система преко fine контроле коју дозвољава *demand-response*.
6. Постизање ефеката тржишта у реалном времену применом *demand-response*-а на тржишту.
7. Отварање нових могућности за експлоатацију обновљивих извора електричне енергије.
8. Подстицање домаћинстава за учешће на балансном тржишту.
9. Повећање количине и квалитета информација доступних операторима тржишта и електроенергетској мрежи.
10. Повећање нивоа друштвено одговорног пословања у електроенергетским системима.

Имплементација модела је прилагођена српском тржишту и регулативи. У основном облику, модел се може применити на традиционалном тржишту, али је његова главна предност флексибилност прилагођавања новим технологијама, са главним циљем да се интегрише са другим *smart grid* технологијама.

Коначни резултат као циљ има допринос формализацији и стандардизацији модела електронског пословања заснованог на *demand-response* технологијама у електроенергетском систему Републике Србије.

1.1. Полазне хипотезе

Главна хипотеза тестирана у дисертацији гласи:

Развојем и применом модела електронског пословања, заснованог на флексибилном учешћу потрошача електричне енергије, повећава се стабилност електроенергетског система и повећава друштвена одговорност корисника система. Имплементацијом предложеног модела електронског пословања на српском тржишту био би искорак ка модернизацији и прихватању *smart grid* технологија које би трансформисале конвенционалне В2В и В2С приступе пословању у сервисно оријентисано пословање са фокусом на С2В.

На основу главне хипотезе и дефинисаног предмета истраживања може се издвојити неколико посебних хипотеза:

X1: Развојем модела електронског пословања за учествовање појединачних домаћинстава и уређаја у балансном тржишту омогућава се фина контрола фреквенције електроенергетског система.

X1.1: Могуће је развити модел електронског пословања заснован на учешћу потрошача за подршку децентрализованом балансном механизму.

X1.2: Применом развијеног модела електронског пословања може се повећати доступни капацитет на балансном тржишту електричне енергије и диверсификовати тржиште.

X1.3: Применом развијеног модела електронског пословања омогућава се и већа друштвена одговорност према животној средини на нивоу појединачног домаћинства.

X1.4: Применом развијеног модела електронског пословања може се повећати брзина увођења нових обновљивих извора електричне енергије.

X2: Развијени модел електронског пословања, заснован на учешћу потрошача, омогућава повезивање појединачних уређаја у дистрибуирану мрежу применом технологија интернета интелигентних уређаја.

X2.1: Контрола електричних уређаја у домаћинствима може се реализовати повезивањем придружених IoT микроконтролера на постојеће локалне бежичне мреже.

X2.2: Повезивањем локалних корисничких мрежа на интернет могуће је формирати дистрибуирани систем за *demand-response*, који преко двосмерне комуникације са оператором послује на тржишту.

X3: Развојем модела електронског пословања, независних од инфраструктуре и организације електроенергетских система, повећава се флексибилност пословања на тржишту електричне енергије.

X3.1: Независност модела од инфраструктуре и организације електроенергетског система омогућава лаку примену и брже увођење развијеног модела.

X3.2: Независност модела од инфраструктуре и организације електроенергетског система чини га погодним за примену у системима који примењују *smart grid* технологије.

X4: Постоји интересовање и спремност потрошача на српском тржишту електричне енергије за усвајање предложеног модела.

1.2. Методе истраживања

У сврху израде овог рада, од општих научних метода користе се методе прикупљања и анализе постојећих научних резултата и достигнућа, моделирање, аналитичко-дедуктивна и статистичка метода. Моделирање се користи приликом израде модела система за дистрибуирано учешће потрошача на тржишту електричне енергије. Аналитичко-дедуктивне методе користе се за анализу података о постојећим решењима, о *demand-response* процесима, анализи тржишта и електроенергетског система Србије, *smart grid* концептима и имплементацијама у другим електроенергетским системима у свету. Наведене методе примењене су у анализи технологија, практичних приступа пројектовању и имплементацији дистрибуираног система за учешће на балансном тржишту, софтверских платформи, комуникационих протокола и *demand-response* стандарда. Мерење релевантних параметара и анализа резултата обављени су статистичким методама. Коришћена је PLS-SEM метода за анализу прикупљених података и евалуацију постављеног теоријског модела.

У експерименталном делу дисертације анализирана је спремност потрошача и учесника на балансном тржишту за увођење предложеног пословног модела. Добијени резултати потврђују главну хипотезу о могућности имплементације дистрибуираног *demand-response* решења на српском тржишту.

Резултати истраживања презентовани су текстуално, описивањем, и приказани кроз више табела, слика и дијаграма са упоредним резултатима.

Истраживање је интердисциплинарно, јер укључује научне дисциплине: методологију, рачунарство и информатику, енергетику, економију, статистику и друге дисциплине. Пројектовање модела електронског пословања припада методологији, методе бележења и анализе посматраних и измерених појава припадају статистици, пројектовање дистрибуираног система и комуникационих протокола, примена IoT технологија, дизајн софтверских решења припадају информатици, анализа и прилагођавање система у складу са електроенергетским системом спада у енергетику, а анализа тржишта као и учешће на берзи електричне енергије припада економији.

2. Анализа оквира за електронско пословање у паметним електроенергетским мрежама

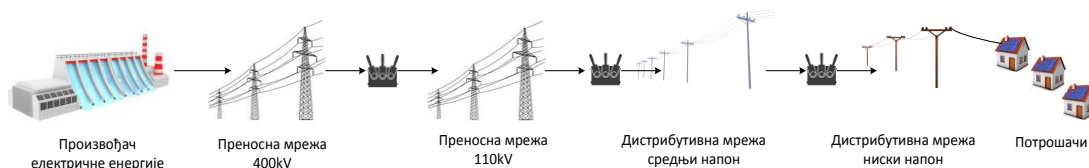
2.1. Традиционалне електроенергетске мреже

Електроенергетска мрежа (енг. *Energy grid*) је компонента електроенергетског система која омогућава следеће функције:

1. Производњу електричне енергије.
2. Пренос електричне енергије.
3. Дистрибуцију електричне енергије.
4. Контролу токова електричне енергије.

Електрична енергија се најчешће добија из централизованог система електрана које производе електричну енергију коришћењем електромеханичких генератора. Генератори се могу покретати водом, топлотом, хемијским сагоревањем или нуклеарном енергијом.

Произведена електрична енергија се трансформише на виши напон како би се са мање губитака пренела на веће удаљености преко преносне мреже (енг. *Transmission grid*). Висок напон преносне мреже омогућује смањење губитака енергије при преносу. Електрична енергија се преноси преко великих раздаљина, реда стотина километара, до трансформаторских станица које напон преноса снижавају на прилагођен напон за дистрибуцију. Дистрибутивна мрежа средњег напона преноси електричну енергију до потрошача. На локацији потрошача, напон се додатно смањује ради безбедног коришћења електричне енергије. При преносу електричне енергије кроз дистрибуциони ниво, губи се количина електричне енергије због нижег напона, а тај губитак није занемарљив. Због тога се дистрибутивна мрежа пројектује тако да раздаљина између трафостанице и корисника буде што мања, чиме се смањују губици приликом дистрибуције. На тај начин се, више од једног века, готово у неизмењеној форми генерише и преноси електрична енергија, како га је дефинисао Никола Тесла у патентима [1][2][3]. Упрошћени приказ традиционалне електроенергетске мреже, по принципима које је дефинисао Никола Тесла, може се видети на слици 1.



Слика 1. Пример традиционалне електроенергетске мреже

Електроенергетски системи имају два кључна ограничења која морају бити задовољена, како би се одржала стабилност и поузданост система. Прво ограничење се односи на одржавање константног односа између производње и потрошње, јер складиштење енергије није економично, а у већини случајева није ни изводљиво. Друго ограничење се односи на усклађивање производње електричне енергије и њене потрошње како би се управљало токовима енергије под ограничењима које преносилац поставља, тј. не постоји ефикасна контрола тока електричне енергије. Контрола и регулација ових ограничења у већини земаља припале су операторима електроенергетске мреже. Највећа разлика је у постојању помоћних система који служе да одржавају стабилност система [4]. Последице које се појављују као резултат ових ограничења су:

1. Нестабилна цена електричне енергије.
2. Управљање системом и пренос електричне енергије су комуналне активности које морају бити строго регулисане.
3. На редован режим рада електроенергетске мреже знатан утицај имају припреме за непредвиђене околности.
4. Брзина одзива генератора је битна.

Америчка регулаторна организација за енергију *The Federal Energy Regulatory Commission* (FERC) за превазилажење наведених ограничења увела је „помоћне сервисе“ [5]. Помоћни сервиси су дефинисани као сервиси неопходни за несметан пренос електричне енергије од продавца до купца унутар једне балансне области. Ове сервисе на тржишту могу нудити енергетска предузећа која резервишу део свог производног капацитета за потребе одржавања стабилности система. Ангажовањем понуђеног производног капацитета оператор повећава и смањује производњу електричне енергије ради усклађивања производње и потрошње у систему. Како би оператор имао лак приступ овим услугама, формирана су тржишта помоћних енергетских сервиса, тј. балансно тржиште.

Немогућност складиштења енергије и велике варијације у потражњи резултују нестабилним ценама електричне енергије. Ова појава се може приметити у вертикално интегрисаним системима где се маргинална цена електричне енергије користи за депеше (обострано одобрене захтеве) за ангажовање појединачних генератора. Нестабилност цена је посебно присутна у реструктурираним мрежама и тржиштима која функционишу по принципу понуда[6].

Енергијом се тргује кроз билатералне уговоре на дужи период, као и на сатне и подсатне периоде (5–15 мин). Трговина се обавља преко тржишта којим управља оператор. Због

великих недостатака у традиционалним електроенергетским мрежама у вези са производњом, преносом, дистрибуцијом и контролом испоручене електричне енергије уводи се концепт паметних електроенергетских мрежа.

2.2. Концепти и структура паметних електроенергетских мрежа

Паметна електроенергетска мрежа (енг. *smart grid*) је диверзификована и дистрибуирана електроенергетска мрежа заснована на савременим информационим технологијама [7][8]. Традиционалне мреже се користе како би се пренела електрична енергија од централних електрана до великог броја потрошача, док паметна електроенергетска мрежа користи дистрибуирану производњу електричне енергије и софистицирану информациону инфраструктуру којом се постиже аутоматизована и дистрибуирана испорука електричне енергије. Детаљна поређења између традиционалне и паметне електроенергетске мреже приказана су у табели 1.

Табела 1. Поређење традиционалних и паметних електроенергетских мрежа [9][10]

Традиционалне електроенергетске мреже	Паметне електроенергетске мреже
Електромеханичко управљање	Дигитално управљање
Једносмерна комуникација	Двосмерна комуникација
Централизована производња	Дистрибуирана производња
Мали број сензора	Велики број сензора
Ручно надгледана	Самонадгледајућа
Ручни опоравак	Самооправљајућа
Гашење делова мреже	Острвски режим рада
Ограничена контрола	Апсолутно контролабилна
Минимално ангажовање корисника	Веће ангажовање корисника

Традиционална електроенергетска мрежа састоји се од малог броја учесника који могу имати следеће улоге: произвођач, преносник, дистрибутер и потрошачи електричне енергије. Потрошачима у традиционалној мрежи сматрају се поједини индустријски потрошачи, док се домаћинства не сматрају учесницима. У паметним мрежама постоји велики број учесника који могу имати различите улоге. Сваки од учесника у паметној мрежи добија већи утицај на стабилан рад система. Учесници у паметној мрежи су:

1. **Произвођачи енергије.** Овај тип учесника сарађује са преносом и дистрибуцијом како би се енергија могла ефикасно пренети до потрошача. Прикупљање и анализа

података у овом домену доводе до увођења концепата паметне производње и ефикаснијег балансирања потрошње.

2. **Пренос и дистрибуција.** Приступ електричној енергији остварује се преко електроенергетских мрежа, којима управљају оператори. У овим областима велики обим података и њихова анализа могу довести до бољег надгледања и контроле мреже. Модернизацијом преноса и дистрибуције омогућава се увођење дистрибуиране производње и аутоматизација дистрибуције [11][12].
3. **Домаћинства и индустријски потрошачи.** Представљају крајње кориснике система. У паметним електроенергетским мрежама они могу бити и произвођачи електричне енергије уколико поседују неку врсту генератора. Због тачног мерења потрошње и производње енергије на страни крајњих корисника користе се паметна бројила. Паметна бројила достављају податке операторима у реалном времену, чиме се ефикасније контролише потрошња електричне енергије.
4. **Тржиште електричне енергије.** Тржишта служе за продају и куповину електричне енергије. Тржиште је одвојен актер који има спрегу са другим учесницима у паметним електроенергетским мрежама. Успостављањем отвореног тржишта, заснованог на конкуренцији, и коришћењем адекватног алгоритма за рачунање цене електричне енергије може се утицати на рад и стабилност целокупне мреже.
5. **Пружаоци услуга.** Организације које нуде корисницима сервисе за управљање, наплату, инсталацију и одржавање уређаја. Повезани су са тржиштем, операторима и корисницима. Обављају функцију интерфејса ка остатку мреже, и дозвољавају кориснику да буде активни учесник који не мора бити упознат са комплексношћу тржишта и законским регулативама.
6. **Оператори.** Баве се управљањем током електричне енергије кроз мрежу. Они се претежно баве инфраструктуром и њеним одржавањем. Послови оператора тичу се и операција мреже, сигурности мреже и логистике.

Из техничке перспективе, паметне електроенергетске мреже могу се поделити на три подсистема [13]:

1. **Паметна инфраструктура.** Представља нове комуникационе, мерне и сензорске технологије примењене у електроенергетским мрежама. Паметне комуникационе инфраструктуре могу да подрже двосмерну комуникацију. Двосмерна комуникација је од кључне важности за сервисно оријентисане пословне моделе на којима се заснива паметна електроенергетска мрежа [14][15]. Како би се осигурала „памет“ у мрежи, потребно је да инфраструктура може да подржи велике количине података, који се континуално генеришу, и њихову обраду у реалном времену.

2. **Паметни систем управљања.** Представља информациони систем који на основу комплексних анализа података може да предвиди будућа стања мреже [16][17]. На основу ових анализа могуће је аутоматско прилагођавање околностима ради обезбеђивања несметаног рада мреже и конкурентности тржишта [18].
3. **Паметни систем за сигурност.** Сигурност представља највећи изазов при имплементацији паметних електроенергетских мрежа. Угрожавање сигурности мреже може довести до критичних политичких и друштвених последица. Овај систем мора да обухвати строге мере заштите за сваки од аспеката новопроектване мреже.

National Institute of Standards and Technology (NIST) је предложио концептуални модел паметних електроенергетских мрежа. Овим моделом се могу идентификовати кључни делови паметне мреже [19]. Уједно, овај модел представља водич за стандардизацију паметних електроенергетских мрежа. Идентификовано је седам домена, односно целина. Свака од њих садржи једног или више учесника (корисника, уређаја, система или програма). Учесници могу доносити одлуке и делити информације ради испуњења својих циљева. Кратак опис ових целина приказан је у табели 2.

Табела 2. Целине паметних електроенергетских мрежа [9]

Целина	Учесници
Корисници	Крајњи потрошачи електричне енергије који могу производити, складиштити и управљати својом потрошњом електричне енергије.
Тржишта	Оператори и учесници на тржиштима електричне енергије чији је циљ куповина и продаја електричне енергије.
Давалац услуга	Организације које нуде своје услуге крајњим корисницима и операторима.
Операције	Управљају током електричне енергије.
Производња	Генератори који производе електричну енергију. Могу чувати енергију ради одложене дистрибуције.
Пренос	Преносиоци електричне енергије на веће удаљености.
Дистрибуција	Електродистрибуције које преносе електричну енергију до корисника, и од корисника ка остатку мреже.

Имплементација паметних електроенергетских мрежа је комплексан поступак који захтева вишегодишње ангажовање свих учесника. Концепти паметних електроенергетских мрежа које треба имплементирати захтевају разрађен и уведен скуп савремених технологија [20]. Везе између технологија у паметним електроенергетским мрежама приказане су на слици 2. Пирамидална структура нуди увид у стандардни

поступак имплементације паметне мреже у којој се морају обезбедити инфраструктурни слојеви како би започео рад на вишим слојевима.



Слика 2. Пирамида паметне мреже [9]

2.2.1. Паметно мерење електричне енергије

Паметно мерење је кључни механизам паметних електроенергетских мрежа. Оно је механизам за прикупљање оперативних података. Извори података који се користе у паметним електроенергетским мрежама су кориснички уређаји и бројила. Прикупљени подаци се односе на потрошњу електричне енергије и стања уређаја. У традиционалним мрежама бројила се користе за мерење потрошње електричне енергије на нивоу једне целине; обично домаћинства немају могућност мерења на нивоу појединачног уређаја или неког временског интервала. Очитавање овог уређаја није аутоматизовано већ га очитава запослени у дистрибуцији, или сам корисник.

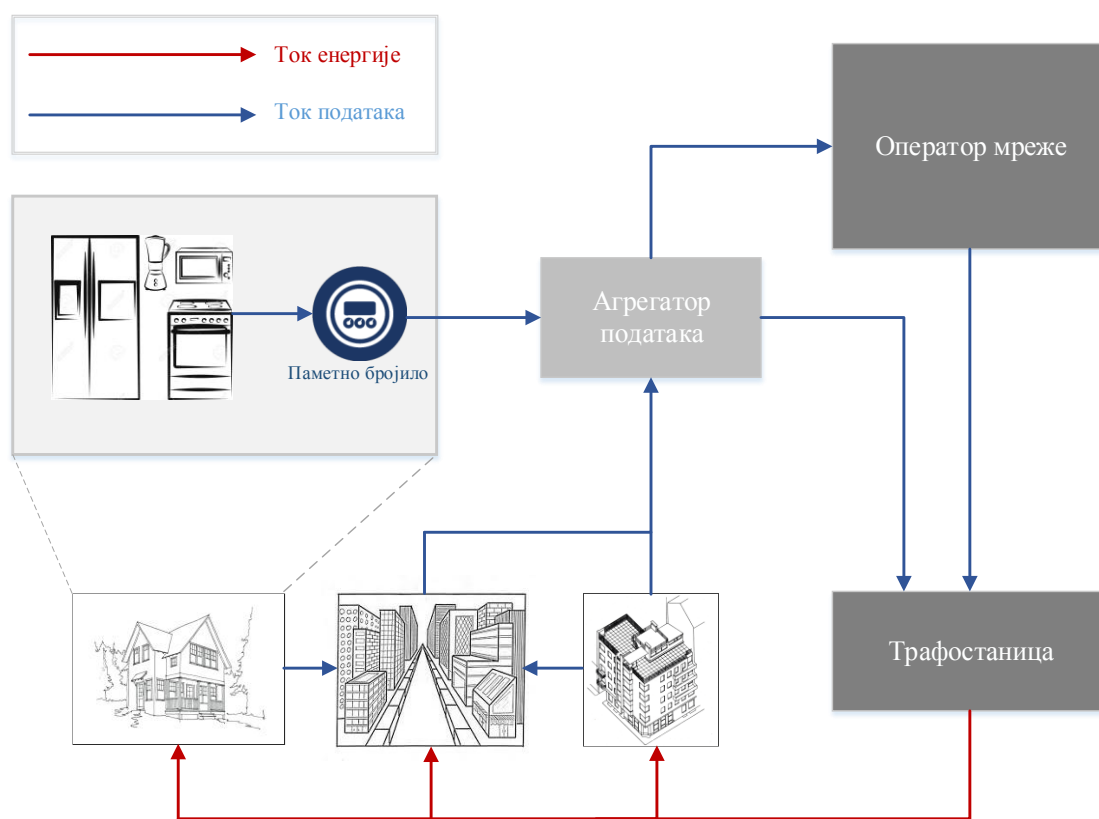
Увођењем система аутоматске мерне инфраструктуре (енг. *Automatic metering infrastructure*, АМІ) [21] решен је проблем ручног очитавања бројила. АМІ се заснива на аутоматском очитавању бројила и представља скуп технологија којима се остварује аутоматско прикупљање података о потрошњи и стању уређаја. На основу прикупљених података праве се рачуни. Такође, над прикупљеним подацима могуће је радити напредне анализе потребне за функционисање мреже и предвиђање потрошње [22].

Бројила која раде у АМІ инфраструктури називају се паметна бројила (енг. *Smart meter*). Паметна бројила имају могућност за двосмерну комуникацију у реалном времену, што подразумева мерење на сатном или мањем интервалу. Овај тип бројила се може сматрати чвором АМІ мреже [13][23][24]. Имплементација ових система представља кључни део стратегије за увођење паметних електроенергетских мрежа. При реализацији АМІ

система оптимизује се рад мреже и ефикасније управља потрошњом и производњом електричне енергије.

Са корисничког аспекта, паметна бројила нуде скуп предности у односу на традиционална бројила. Главна разлика је могућност потрошача и дистрибутера да врше тачан увид и већу контролу потрошње електричне енергије.

Из перспективе оператора, могуће је тачније надгледање потрошње и осталих енергетских параметара на основу података у реалном времену. Управљањем овим параметрима могуће је утицати на корисничку потрошњу у периодима великог оптерећења.



Слика 3. Пример аутоматске мерне инфраструктуре

На слици 3, где је приказан пример аутоматске мерне инфраструктуре, може се видети како паметно бројило прикупља податке о потрошњи електричне енергије са кућних уређаја. Подаци добијени са бројила шаљу се агрегатору података. Агрегатор представља треће лице или кориснички уређај који се понаша као гејтвеј, који агрегиране податке шаље оператору. Агрегација података се може вршити и на трафостаницама како би се оптимизовала количина података који пролазе кроз систем.

2.2.2. Инфраструктура паметне електроенергетске мреже

Развој информационих технологија знатно је утицао на модернизацију комуникационих подсистема у електроенергетским мрежама [25][26]. Комуникација на многим електроенергетским мрежама врши се преко инфраструктуре која је старија од тридесет година [27]. Постојећа инфраструктура претежно служи да би се подржали системи за мерење и надгледање мреже, то јест SCADA (*Supervisory control and data acquisition*) системи. Увођењем модерне инфраструктуре могу се постићи боље перформансе мерне инфраструктуре, где је повећање протока први потребан корак за несметану комуникацију са клијентима (паметним бројилима) [28].

Постоје четири типа мрежа које могу бити коришћене за потребе инфраструктуре паметне електроенергетске мреже [29][30]:

1. *Enterprise BUS* архитектура – брза веза која повезује контролне центре са тржиштем и електранама.
2. *Wide area network* – мрежа која служи за повезивање локација на великим раздаљинама.
3. *Field area network* – мрежа која се претежно користи у трафостаницама за контролу интелигентних уређаја и трансформатора.
4. Локалне мреже – чине их корисничке локалне мреже, мреже њихових интернет провајдера и мрежа на дистрибутивном нивоу преко које се информације прослеђују кроз систем [31].

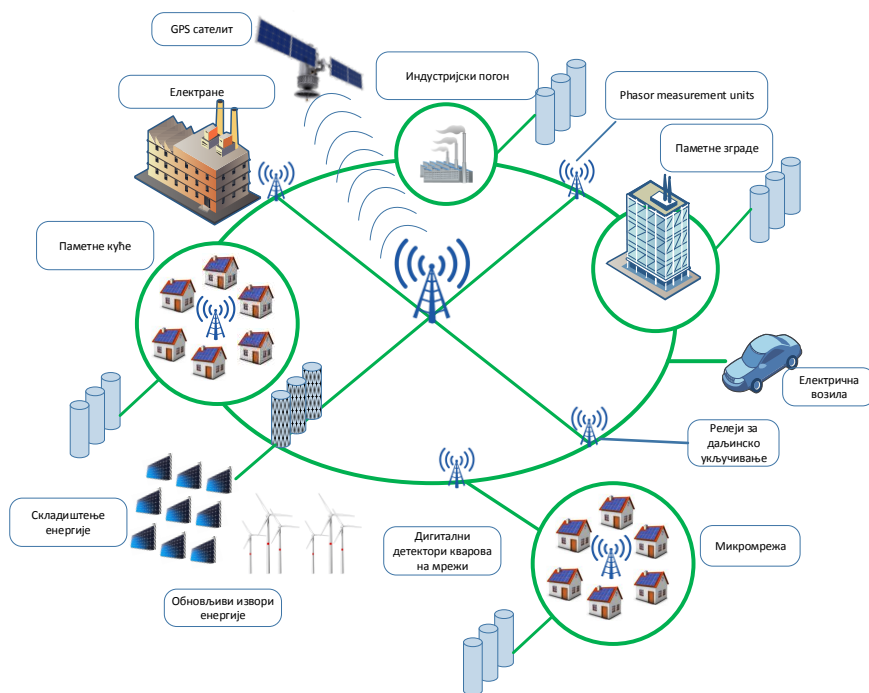
Заступљеност бежичних технологија у модерним рачунарским мрежама је омогућила коришћења бежичних мрежа у електроенергетским системима [32]. Постоје два приступа за увођење бежичних технологија [33]:

1. *Wireless mesh* технологије, које представљају скуп сензорских чворова са бежичном комуникацијом организованих у мрежну топологију у којој сваки сензор може да успоставља везу и прослеђује податке сензорима који су у домету [34].
2. Мобилни комуникациони системи, као што су GSM, 3G и 4G. Ове мреже су подељене на ћелије, где свака ћелија поседује свој предајник. Коришћењем овог типа мрежа може се постићи јефтина размена података са удаљених локација, због коришћења постојеће инфраструктуре.

За несметани рад паметне мреже потребно је да комуникациони подсистем испуни следеће захтеве [13]:

1. **Контрола квалитета података.** Комуникациони подсистем мора имати подршку за контролу квалитета података. Информације везане за производњу и тржиште електричне енергије морају бити достављене на време како се не би угрозила стабилност система.
2. **Поузданост.** Податак који се пошаље мора стићи, без изузетка. Због постојања великог броја уређаја и великог броја протокола, испуњење овог услова може бити велики изазов.
3. **Доступност.** Доступност система осигурава ажурну реакцију на контингенције у мрежи.
4. **Сигурност.** Комуникациони подсистем мора гарантовати сигурност и приватност информација. Сигурност података је један од ризика увођења паметних електроенергетских мрежа [35].
5. **Управљање *end-to-end* комуникацијом.** Потребно је управљати великим низом хетерогених система. Пример овог управљања је описан у IEEE P2030 SG стандарду [36]. У овом стандарду дефинише се механизам у коме сваки ентитет добија свој јединствени идентификатор који омогућава *end-to-end* комуникацију.

Пример топологије комуникационог подсистема за *smart grid* и технологија које се користе може се видети на слици 4.



Слика 4. Пример топологије комуникационог подсистема [37]

Развој интернет технологија довео је до већег приhvатања TCP/IP протокола као стандардног начина комуникације у електроенергетским системима. TCP/IP протоколом остварује се *end-to-end* комуникација преко IPv4 или IPv6. Овај скуп технологија показао се као потенцијално решење за захтеве који су стављени пред комуникационе подсистеме за паметне електроенергетске мреже [13]. NIST је препознао TCP/IP као једну од кључних технологија паметних електроенергетских мрежа [19]. Значајна предност примене TCP/IP протокола је лакоћа са којом клијентски уређај може комуницирати са остатком мреже коришћењем сопствене LAN мреже. Сваки од система који су део интегрисаног окружења може имати сопствену имплементацију нижих слојева комуникације. Уколико ентитет у мрежи не подржава TCP/IP протокол, његови пакети се могу енкапсулирати преко доступних софтверских интерфејса.

Традиционалне електроенергетске мреже користе више протокола за комуникацију у мрежи [38]. Основни тип комуникације у традиционалним електроенергетским мрежама представља SCADA комуникација, која се заснива на упрошћеном принципу захтева и одговора [39]. Један од проблема модернизације комуникационе мреже огледа се у постепеном прелазу на новије технологије без угрожавања рада система. Специфичан проблем који се јавља код пребацивања SCADA система на рад у TCP/IP окружењу је *overhead* који се придружује сваком пакету због енкапсулације, што успорава SCADA комуникацију.

Осим паметних бројила, за надгледање делова електроенергетске мреже користе се сензорске инфраструктуре. Преласком на паметне електроенергетске мреже потребно је унапредити сензорску инфраструктуру како би се читавања добијала у реалном времену. Краћи интервали читавања служе да се ефикасно предвиде проблеми и спрече нестабилности у мрежи.

Један од приступа унапређењу постојеће сензорске инфраструктуре је увођење бежичних сензорских мрежа (енг. *Wireless sensor networks*, WSN). Увођењем WSN знатно се смањују трошкови прикупљања података и одржавања мреже [40]. Погодности увођења WSN мрежа су ниска цена појединачних уређаја као и лакша комуникација са централним системом за управљање због аутономног режима рада уређаја.

Главни захтеви који се постављају пред сензорске мреже нове генерације су [13]:

1. **Управљање квалитетом сервиса.** Преко сензорских података се може обављати контрола поузданости мреже, латенције и протока.
2. **Рад са ограниченим ресурсима.** Сензорски чворови су обично јефтини и скромних перформанси. Програми који се баве контролом ових мрежа треба да узимају у обзир

ограничења сензорских чворова и треба да коректно управљају потрошњом енергије чворова.

3. **Удаљени приступ и одржавање.** Сваки сензор треба да има могућност удаљеног приступа због поновне конфигурације или провере стања. Ово омогућава несметано и брзо одржавање мреже.
4. **Висок ниво сигурности.** Сензори треба да буду отпорни на спољне утицаје како би се спречила манипулација и нарушавање безбедности система.
5. **Рад при лошим условима.** Сензори могу бити под сталним утицајем сметњи радиоталаса, токсичних окружења, велике влажности ваздуха, вибрација, прашине и високих температура.

2.2.3. Дистрибуирана производња и микромреже

Промене које су настале као резултат увођења технологија паметних електроенергетских мрежа омогућиле су дистрибуирану производњу електричне енергије која подразумева увођење великог броја генератора мале снаге (између 3kW и 10000kW). Дистрибуирани генератори су обично соларни панели или мање ветрењаче.

Даљи развој и усавршавање технологија дистрибуиране производње омогућиће логичко груписање великог броја мањих генератора у једну функционалну целину. Оваква групација се зове виртуелна електрана [41]. У данашњим системима логички груписани генератори нису конкурентни традиционалним електранама по питању снаге, али се очекује да ће се њихов капацитет за производњу знатно повећати [42][43]. Виртуелном електраном се управља преко централног контролера који омогућава контролу над производњом. Недостатак капацитета производње виртуелних електрана надокнађује се високом флексибилношћу која је кључна за модерна тржишта електричне енергије. Флексибилност генератора се огледа у брзом одговору на нагле скокове у потражњи који су карактеристични за вршне периоде [44].

Карактеристика дистрибуиране производње је чињеница да крајњи корисници електричне енергије могу поседовати генератор и продавати произведену енергију на тржишту.

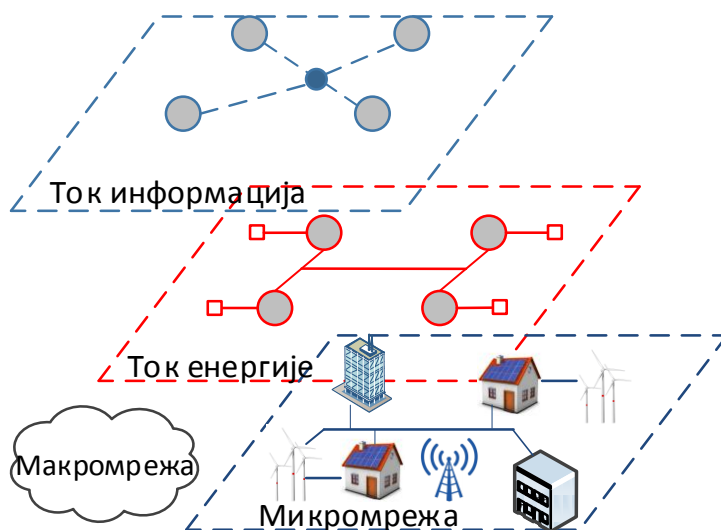
Главни проблем за ширу имплементацију дистрибуиране производње представљају велике флукуације производње малих генератора. Ови генератори имају потешкоћа да стабилно прате корисничку потрошњу [43]. Како би се ефикасно управљало флукуацијама производње, потребно је направити ефикаснији начин коришћења ових типова енергије који је отпоран на флукуације. Флукуацијама је могуће управљати и

ефикасно их предвидети коришћењем концепата виртуелних електрана. Крајњи циљ је успостављање виртуелних електрана које су способне саме себе да регулишу, како се не би непотребно оптерећивао електроенергетски систем.

Трошкови имплементације, дистрибуиране у односу на централизовану производњу електричне енергије, такође представљају један од проблема. Централна производња доноси већи капацитет производње за мања улагања [45]. Овај раскорак у цени мора се смањити како би се увођење виртуелних електрана у већим размерама исплатило.

Висок ниво дистрибуираности паметних електроенергетских мрежа омогућава аутономан рад мањих делова мреже [46]. Микромрежа представља локализовану групацију генератора и потрошача [42]. Ова групација има могућност одвајања од централне мреже и аутономног функционисања, обично у умањеном капацитету. Увођење микромрежа дозвољава већи ниво стабилности мреже на локалном нивоу и додатни степен изолације за очување стабилности целокупне мреже [47]. Микромреже функционишу по принципу *plug-and-play* који омогућава природно и лако проширење електричне мреже [48].

На слици 5 је приказана микромрежа која у себи садржи пет учесника. Учесници су две турбине, два соларна панела и једна приступна тачка која се користи у комуникационе сврхе. Електрична енергија се размењује коришћењем енергетске инфраструктуре, док се информације размењују преко бежичног интранета.



Слика 5. Пример микромреже

2.2.4. Електрична возила

Електрично возило је возило које за погон користи један или више електричних мотора. Смањење количине фосилних горива и повећање њихових цена директно утиче на повећање популарности електричних аутомобила. Повећано коришћење овог вида превоза довело је до потребе да се детаљније размотри њихов утицај на електроенергетску мрежу [49]. Прогнозе указују да постоји могућност оптерећења локалне мреже и пада напона уколико се велики број возила пуни у исто време [50]. Последица повећања броја електричних возила је и промена профила потрошње купаца, која је битна за операторе [51]. Тржишни пробој електричних возила и развој технологија паметних мрежа довели су до настанка два нова концепта: „Мрежа ка Возилу“ (eng. *Grid-to-Vehicle*, G2V) и „Возило ка Мрежи“ (eng. *Vehicle-to-Grid*, V2G).

У G2V концепту електрична возила могу чувати енергију у својим батеријама. Ове батерије се морају пунити у редовним интервалима преко прикључка на мрежу. Пуњење батерија може утицати на тренутни профил потрошње корисника, а дистрибутивна мрежа мора бити спремна за додатно оптерећење [52]. Једно од решења овог проблема је оптимизација времена пуњења аутомобила, где се избегава пуњење батерија при вршној потрошњи. Дакле, решење је координисано и управљано пуњење великог броја возила у различитим временским слотовима, због бољег управљања оптерећењем система [53][54].

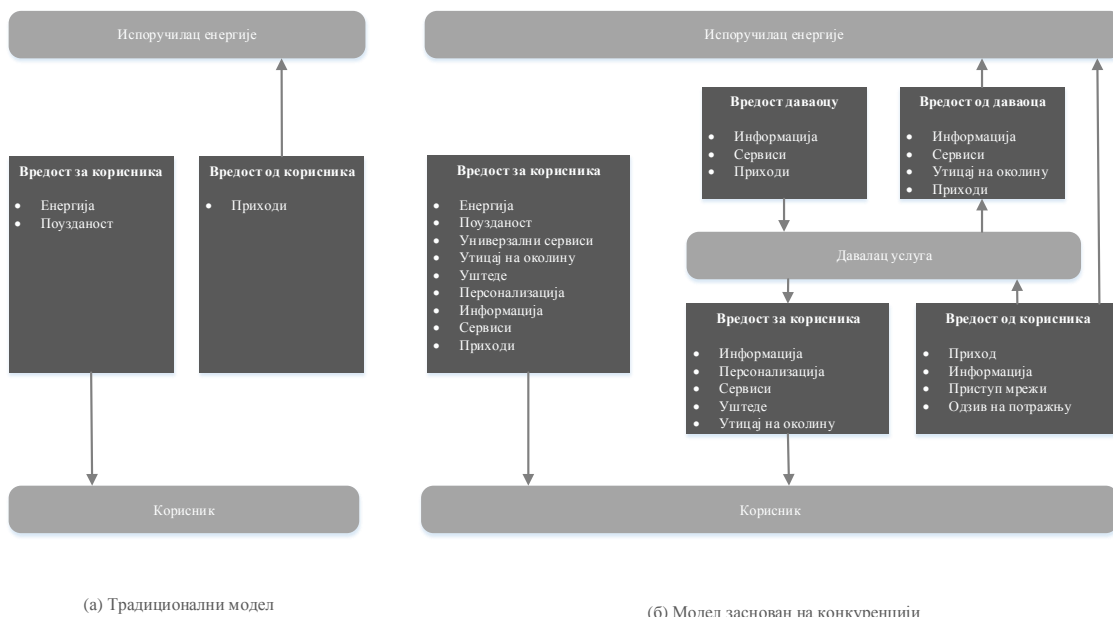
У V2G концепту возила могу предати енергију из својих батерија систему [55]. Да би се овај трансфер постигао, возило мора комуницирати са мрежом како би се енергија продала на тржишту електричне енергије. Према истраживањима [56], у САД се аутомобили возе у просеку један сат на дан. Идентификована су три начина експлоатације батерија аутомобила који нису у употреби [13]. Први начин се односи на хибридне аутомобиле који користе гориво да би генерисали електричну енергију. Возило се може укључити и продавати електричну енергију при вршним потрошњама како би се задовољила потреба за енергијом и остварила добит. Овај приступ се може сматрати дистрибуираним начином производње енергије. Други начин је да се енергија која се чува у батеријама аутомобила продаје систему у периодима вршне потрошње, како би се одржала стабилност система. Ово је економичнији приступ од првог због чињенице да се возило може пунити у сатима када је електрична енергија јефтина, насупротив првом начину где мотор ради у вршном периоду. Трећи начин је соларно возило чија је батерија већ пуна. Овај приступ подразумева продају вишка произведене енергије на тржишту.

2.2.5. Пословни модели и тржишта електричне енергије

Учесници на отвореном тржишту електричне енергије могу бити физичка или правна лица. Учешћем на тржишту корисници могу остварити новчану добит, задовољити своје енергетске потребе и позитивно утицати на околину, тако што дају приоритет обновљивим изворима енергије [57]. Како би се омогућила дистрибуирана производња електричне енергије, потребно је имплементирати отворено тржиште електричне енергије [58]. Иако постоји могућност продаје електричне енергије без постојања отвореног тржишта кроз строгу контролу оператора, отворено тржиште је пожељно како би се максимизовала корист за кориснике и операторе. Кључни елемент у имплементацији отвореног тржишта је напредна комуникациона инфраструктура способна за рад у реалном времену [59]. Двосмерна комуникација у реалном времену омогућује ефикасније искоришћење енергије и максимизацију профита који корисник може остварити. Главне користи од оптимизације корисничке потрошње и њиховог учешћа на тржишту имају оператори дистрибутивног и преносног нивоа [60].

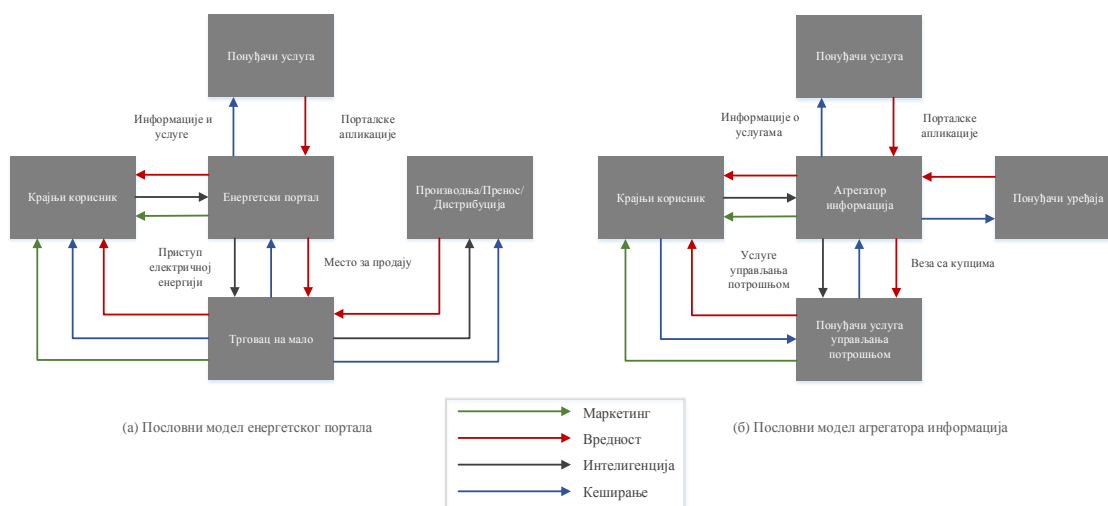
Компоненте отвореног тржишта електричне енергије разнолике су и комплексне у поређењу са традиционалним начином рада електроенергетске мреже, који се заснива на произвођачима и потрошачима [61]. Анализом нових компоненти и токова података могу се конструисати нови пословни модели прилагођени раду у паметним електроенергетским мрежама. Пословни модели прилагођени модерној мрежи могу стварати нову вредност и позитивно утицати на конкурентност тржишта. Упоредни преглед традиционалног и модела заснованог на конкуренцији приказан је на слици 6.

Ради стабилног рада тржишта мора се установити метода одређивања цене електричне енергије. Метода одређивања цене електричне енергије директно утиче на будуће моделе пословања. Неадекватна метода одређивања цене електричне енергије представља главни ризик успешности тржишта. Неки од узрока неуспешног тржишта су: превисока цена због постојања монопола, прениска цена због превелике конкурентности итд.



Слика 6. Традиционални модел и модел заснован на отвореном тржишту [61]

Корисници отворених тржишта могу захтевати различите сервисе од организација у енергетском сектору [62]. Неки од понуђених сервиса су управљање потрошњом електричне енергије и смањење загађења околине. Сваки од ових сервиса прати финансијска надокнада којом се подстиче даље коришћење сервиса. Увођењем корисничких сервиса стварају се нове вредности [61] и модели приказани на слици 7.



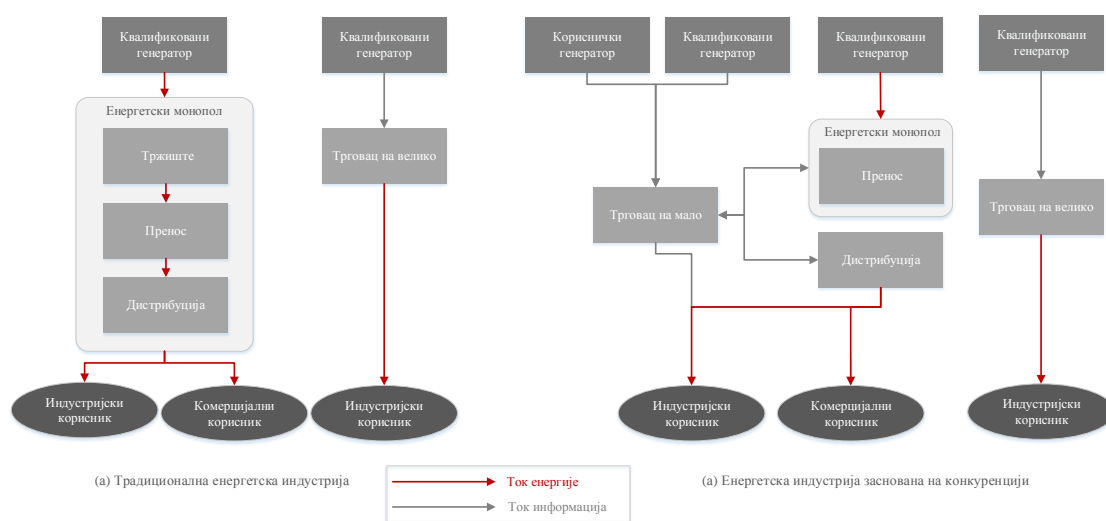
Слика 7. Модели пословања у паметним електроенергетским мрежама [61]

Модел пословања заснован на агрегаторима заснива се на продаји и постављању паметних бројила и прикупљању информација. Прикупљене информације прослеђују се операторима и другим понуђачима услуга у електроенергетским мрежама. Пословни

модел агрегатора је погодан за тржишта која су у развоју, јер подстиче увођење нових паметних бројила и тиме унапређује инфраструктуру електроенергетске мреже.

Отворен приступ тржишту представља изазов дистрибутивној мрежи чињеницом да мора бити омогућен *plug-and-play* приступ систему који дозвољава лако и брзо повезивање на дистрибутивну мрежу. Упоредо са *plug-and-play* механизмом мора се омогућити аутоматизација продаје енергије произведене од стране корисника на такав начин да не ремети стабилност система [9].

Упоредни преглед новонасталог енергетског сектора, у поређењу са традиционалним, може се видети на слици 8.



Слика 8. Традиционална и паметна електроенергетска индустрија [61]

2.2.6. Складиштење и аналитика података у паметним електроенергетским мрежама

Увођење иновативних *smart grid* технологија доноси значајне промене у постојећим електроенергетским системима. Ове промене највише имају утицаја на тржишта електричне енергије, као и на увођење нових пословних модела и сервиса. Проблеми у имплементацији нових технологија претежно се односе на чување и обраду великих количина података [63][64], због чега оператори морају пронаћи нове и квалитетније изворе података, као и механизме њихове обраде у информације релевантне за пословање и одлучивање [65]. Због разноликих извора података и потребе за брзом обрадом прикупљених података, оператори електроенергетских система морају пратити савремене технолошке трендове како би смањили комплексност овог проблема [30][66]. Технолошке иновација које могу понудити решења за проблеме складиштења и анализе

података су системи пословне интелигенције (енг. *Business Intelligence*, BI) као и друге платформе за ефикасно управљање информацијама засноване на *Big data* концептима. Ове платформе постоје у енергетским предузећима већ дужи низ година, међутим, њихов значај је са развојем *smart grid* технологија знатно порастао. Применом BI у *smart grid*-овима могу се понудити механизми за мерење и побољшање ефикасности коришћења „паметних“ аспеката електроенергетских мрежа. Да би се ови иновативни механизми имплементирали, потребно је развити моделе пословне интелигенције прилагођене потребама и захтевима *smart grid* окружења и подржати пословне процесе унутар предузећа, као и системе који их опслужују [67][68].

Упоредо са подршком индивидуалним технологијама паметних електроенергетских мрежа, систем за пословну интелигенцију се може користити као интегратор за више различитих *smart grid* технологија, тако да је њиме могуће остварити анализу целокупног енергетског ланца вредности [69][70]. Поред анализе ланца вредности, системи пословне интелигенције доносе и друге предности за пословање и сматрају се једином технологијом која може имати предности за целокупну мрежу и све аспекте пословања оператора [71]. При интеграцији података из ланца вредности, често се наилази на проблем да предузећа унутар енергетског сектора раздвајају своје системе у различите подсистеме, са минималним могућностима интеграције, како унутар предузећа, тако и са системима пословних партнера. Оваква организација података за системе пословне интелигенције има као последицу велики број потенцијалних извора података из различитих предузећа и најразличитијих софтверских платформи. Поред интеграције са системима унутар ланца вредности, систем пословне интелигенције мора подржати апликације за кључне пословне процесе оператора електроенергетске мреже, нпр.: DAMAS, SRAAMD и SCADA системе. Поред проблема различитих извора података и њихове интеграције, у системима пословне интелигенције јављају се и проблеми обраде неструктурираних и полуструктурираних извора података.

За решавање проблема чувања све већих количина података, које генеришу и *smart grid* и иновирани пословни процеси, потребно је систем пословне интелигенције повезати са системом за складиштење података (енг. *Data warehouse*). Применом складишта података могуће је имплементирати аналитички систем који оператору мреже у реалном времену генерише релевантне кључне показатеље перформанси пословања (енг. *Key Performance Indicator*, KPI) као и напредних аналитичких модела [72][73]. Због јаке спреге система за пословну интелигенцију и складишта података, ове две технологије могу се сматрати јединственим основом аналитичког система енергетског предузећа [74].

Оператори система мреже као и тржишта имају као кључни део својих пословних процеса решавање компликованих оптимизација рада система [75][76]. Главни аналитички проблем оператора представља прогноза потрошње. Коришћењем система пословне интелигенције преко историјских трендова и анализе шаблона понашања учесника на тржишту могу се постићи тачније прогнозе [77]. Предвиђања овог типа могу понудити проактивни приступ у решавању проблема повезаних са потенцијално негативним ситуацијама. Оператор дистрибутивне мреже може такође имати корист од напредних аналитичких модела за прогнозу потрошње на нивоу домаћинства, ради тачнијег предвиђања вршних периода [78].

Аналитика у паметним електроенергетским мрежама подељена је на три целине: аналитику мреже, техничке анализе и пословну интелигенцију, чија се структура и даља подела може видети на слици 9. Аналитика мреже подразумева прикупљање података са сензора и указује на тренутни рад мреже. Аналитика мреже омогућава предвиђање будућих стања мреже. Техничка анализа подразумева мерење ефикасности мреже и максимизацију коришћења техничких средстава. Пословна интелигенција подразумева и анализу корисничке стране. Применом пословне интелигенције може се доћи до нових сазнања о самом предузећу и његовом окружењу, која су применљива у оперативном пословању предузећа [79]. Честе анализе које се врше у електроенергетским предузећима су анализа потрошње и сегментација тржишта.

Поред пословне интелигенције постоје и друге стандардне методе анализе и обраде података као *data mining*, машинско учење и друге технике налажења корисних информација из обиља података које нуде паметне електроенергетске мреже. Подаци везани за компоненте енергетских система имају висок степен корелације. Корелација се најлакше може приметити при читавању паметних бројила у периодима када нико није код куће. Ова читавања имају велике сличности за свако бројило у мрежи. Висок степен корелације дозвољава агрегацију и компресију података како би се смањило оптерећење телекомуникационе мреже [81]. На тај начин се избегава директна комуникација бројила са оператором, која може изазвати оптерећење комуникационе мреже и сервера који опслужују прикупљање података.



Слика 9. Таксономија аналитике у паметним мрежама [80]

Да би се решио проблем оптерећења комуникационих линија и сервера за прикупљање података, уводи се концепт агрегатора података [82]. Агрегатор података је део инфраструктуре и представља сервер који се налази на локацији у близини корисника. Локација агрегатора података је обично у трафостаници на коју је повезано паметно бројило. Након прикупљања довољне количине података за анализу или након одређеног периода, агрегатор шаље оператору агрегиране податке о потрошњи. Агрегиране податке оператор прихвата и обрађује у свом систему за анализу података. Овим се у систему за анализу података уклања потреба анализе појединачног *smart-grid* ентитета. Уклањањем потребе за анализом појединачних ентитета омогућава се виши ниво приватности и сигурности података у аналитичким системима као и постизање бољих перформанси. За складиштење прикупљених података са сензора последњих година се појавила могућност коришћења сервиса јавног облака (енг. *Public cloud*). Чувањем података у облаку може се ослободити постојећа инфраструктура и померити фокус са складиштења и прикупљања на анализу података. Међутим, коришћење сервиса јавног облака може имати и негативне последице. Чување података на *cloud* сервисима за последицу може имати губитак контроле над подацима и губитак приватности. Коришћење *cloud* услуга за складиштење велике количине података повлачи и одговарајуће трошкове, који могу бити високи. Најутицајнији фактор при рачунању цене услуга сервиса јавног облака је остварени

проток информација, који у случају паметних електроенергетских мрежа може бити висок.

Подаци о потрошњи електричне енергије представљају масиван, динамички, вишедимензиони и хетерогени скуп података [83][84]. Реализација ефикасног система за надгледање, који је способан за рад у реалном времену, обавезан је корак при имплементацији паметних електроенергетских мрежа. Ефикасно увођење оваквог система повлачи екстракцију података из различитих извора и коришћење нових алгоритама за брзу претрагу података [80].

Код екстракције података из различитих извора података, ентитети од којих се прикупљају подаци могу бити паметна бројила, агрегатори, соларни сензори, мерачи брзине ветра, релеји и други њима слични. Да би се осигурао ефикасан рад са оваквим разноврсним изворима података, потребно је омогућити несметан паралелни рад софтверских решења за прикупљање, иницијалну обраду, агрегацију и анализу у различитим деловима система. Процес екстракције и обраде може се видети на слици 10.



Слика 10. Екстракција и обрада података у реалном времену за паметне мреже [80]

Дистрибуирани систем за обраду података је динамички, састоји се од више чворова и потребно је да је аутономан, дистрибуиран и самоорганизујући. Пракса је показала да дистрибуирани системи за анализу података имају боље перформансе него системи са једним централизованим чвором за прикупљање и анализу података. Функција дистрибуираних алгоритама за обраду података у оваквом систему је углавном оцењивање или рангирање података. Најбољи пример алгорита дистрибуиране обраде је *map-reduce* [85]. Функционалности у обради података код ових алгоритама могу се ефикасно паралелизовати, што дозвољава брзи одзив обраде који је потребан за анализу података из паметне мреже у реалном времену.

2.2.7. Сигурност и приватност у паметним електроенергетским мрежама

Сигурност је битна ставка у разматрању употребљивости информационог система и представља велики изазов у имплементацији паметних електроенергетских мрежа [86]. Пропусти у безбедности дозвољавају потенцијалном нападачу приступ приватним информацијама корисника и контролним апликацијама [87].

Преко манипулације апликацијама могуће је подесити профил потрошње на жељени облик. Доношење одлука на основу нетачних података дестабилизује мрежу на непредвидљиве начине који могу довести и до гашења електроенергетске мреже [88].

Главни сигурносни пропуст може настати у паметним бројилима [89]. Корисник може манипулисати својом потрошњом и трошити више него што се мери. Подаци се могу лажирати и при производњи, на пример, слањем поруке систему да је предата електрична енергија а да то заправо није учињено. Нападач постаје претња по систем уколико добије приступ великом броју бројила. Мењањем профила потрошње на великом броју бројила могуће је манипулисати системом на неприметан начин. *Denial-of-Service* напад је када паметно бројило шаље велики број захтева за потрошњу електричне енергије и тиме оптерећује и блокира систем. Иако је могуће лако се заштитити од DOS напада са једног бројила, проблем постаје озбиљнији уколико се овај тип напада дистрибуира. Бројила која се користе при нападу константно се смењују и немогуће је ефективно санирати проблем. Резултат оваквих напада може имати негативне последице на целокупну мрежу једне државе, и свим корисницима онемогућити приступ електричној енергији [90].

Велика количина информација која се може добити од корисника је срж паметних електроенергетских мрежа, али представља и проблем са становишта приватности корисника [91]. На основу података о потрошњи неког домаћинства, неовлашћено лице би са великом лакоћом и тачношћу могло да утврди навике и активности домаћинства [92]. Неке од ставки које се могу сазнати анализом тих података су: у којим часовима неко гледа телевизију, када користи рачунар, када се купа, када једе, када није код куће итд. Истраживања [19] и [93] су показала да је могуће да се са високим степеном сигурности утврди профил људи у неком домаћинству само на основу информација из паметних бројила, уз помоћ скромног хардвера и алгоритама.

Са аспекта приватности и сигурности података, долази се до закључка да комуникација паметних бројила са контролерима мора бити енкриптована [94][93]. Лоша страна енкрипције је пад перформанси система услед обраде енкриптованих података. Сигурносни

проблеми са којима се стандардне рачунарске мреже суочавају су такође актуелни у паметним електроенергетским мрежама.

2.2.8. Оквир за имплементацију паметних електроенергетских мрежа

Имплементација једне паметне мреже широких размера представља велики изазов [95]. Овакве мреже често имају и преко десет милиона чворова који прикупљају податке. Да би се успешно имплементирао систем ових размера, потребно је користити неки од оквира за имплементацију и модернизацију мреже. Свака од фаза може трајати више година и мора проћи кроз стандардне кораке пројектовања, имплементације и адаптације на нови начин рада. Координисање паралелних фаза развоја је од велике важности због високе међузависности елемената система [96]. Аутори у [95] препознали су процесе који се морају извршити у току имплементације паметне мреже. Овај приступ осигурава ефикасан и несметан рад главних пословних процеса у новом окружењу. Процеси који су препознати су:

1. **Стратешко планирање** – прављење детаљног свеобухватног плана и подела на мање целине којима се може лакше управљати.
2. **Регулациона стратегија** – стратегија имплементације мреже која мора испоштовати законске регулативе и међународне стандарде.
3. **Холистички приступ** – план за унапређење сваке од функционалности мреже. Давање на значају једном делу целине као резултат има негативан утицај на крајњу ефикасност мреже и услуга. Честа је појава да се превелики значај даје мерној инфраструктури, али да се новодобијене информације не користе на прихватљив начин.
4. **Студија оправданости** – студијом се утврђују предности које се могу остварити модернизацијом мреже и прихватањем нових пословних модела. Без студије оправданости, резултат може бити мало модернија мерна инфраструктура која не оправдава инвестиције.
5. **Подршка за све учеснике** – идентификација и активни развој процеса који одржавају однос са учесницима на тржишту. Овај процес је од кључне важности уколико се очекује имплементација тржишта електричне енергије.
6. **Стандарди интероперабилности** – стандарди морају бити дефинисани за све организације које су део мреже. Имплементирани стандарди се морају директно применити у дизајну софтверских решења која служе за управљање мрежом и подацима.

7. **Фаворизовање практичних и балансираних решења** – практична корист од увођења система мора се остварити. Овај корак се постиже увођењем сегментираних система. Преко сегментираних система остварује се већи ниво контроле и оптимално коришћење података који су на располагању. Овај корак не треба схватити као позив на фаворизацију мерне инфраструктуре, већ позив на развој подсистема који генеришу практичну вредност.

При анализи система који подржава концепте паметних електроенергетских мрежа, потребно је посматрати његове целине. Паметна електроенергетска мрежа се може сматрати скупом технолошких, социјалних и политичких целина. Заједничким радом ових целина постиже се ефикасно коришћење података, што мрежу чини „паметном“. Таква „памет“ омогућава дистрибуирано управљање ресурсима на оптималан начин. Овај скуп целина се зове *Smart grid enabling stack* [97] и приказан је на слици 11.



Слика 11. *Smart grid enabling stack* [97]

Како би се успешно имплементирао комплексан систем паметне електроенергетске мреже потребно је држати се прописаних стандарда [98]. Најбитнији су стандарди који се односе на компатабилност интерних система и комуникацију са спољашњим системима. Главни стандард за интероперабилност у паметним електроенергетским мрежама је IEEE P2030 *Interoperability standard* [99] који нуди отворену спецификацију имплементације система. Циљ отворене спецификације за интероперабилност је да се понуди упутство за

пројектовање скалабилне мреже широких размера. Стандард дефинише следеће перспективе: енергетски системи, информационе технологије и комуникације. Свака од перспектива се састоји из више домена, ентитета, интерфејса и токова података. Домен представља корисничку целину, а IEEE P2030 је прихватио листу домена коју је идентификовао NIST. Ентитет представља уређај, мрежу или софтвер који се налази унутар неког домена. Ентитети су међусобно повезани преко интерфејса. Интерфејс представља логичку везу између два ентитета са једним или више токова података. Токови података представљају комуникацију на апликационом нивоу између ентитета на којима настају ти подаци (нпр. бројила) и ентитета који користе податке (систем за анализу потрошње).

IEEE P2030 *Interoperability* стандард не заступа одређени скуп технологија. Отвореност стандарда огледа се у томе да је пажња посвећена анализи веза између ентитета, а не њиховој конкретной имплементацији. Фокус на комуникацију без ослањања на одређену технологију дозвољава пројектанту одређени ниво слободе у будућем развоју. Сваки ентитет дефинише своју имплементацију, која мора пратити стандард. Док се сваки ентитет држи стандарда, могуће је неометано функционисање мреже.

Развој великог система, као што је паметна електроенергетска мрежа, мора се поделити у више целина. Свака целина мора даље бити разложена на задатке. Задатак мора као свој циљ имати дефиницију и координацију интерфејса и ентитета. Овом поделом се комплексност реализације паметне мреже и проблеми интероперабилности ентитета знатно смањују.

Како би се ови пројекти реализовали и остварила практична корист, потребно је извршити коректну анализу у процесу припреме пројекта. Пројекат имплементације паметних електроенергетских мрежа под називом „*SmartGridCity*“ у граду Булдер у Колораду је као циљ имао реализацију првог града са паметном електроенергетском мрежом [42]. Пројекат је завршен 2010. године и као резултат само 43% становника града је имало паметно бројило. Трошкови пројекта су нарасли на 42 милиона долара од предвиђених 15 милиона, не рачунајући трошкове одржавања и рада система. Искуства из овог пројекта треба имати у виду при пројектовању паметних електроенергетских мрежа, као и нужност коректне анализе у студији изводљивости.

Искуства из других грана привреде, а посебно из потрошачке електронике, указују на значај задовољства корисника. Задовољство корисника огледа се у већој мотивацији, прихватању и коришћењу услуга и производа. Паметне мреже морају прихватити овај модел пословања.

Један од главних циљева паметних електроенергетских мрежа је смањење емисије угљен-диоксида. Међутим, циљеви оператора мреже не морају се поклапати са циљевима корисника. Корисник може одбијати да користи ове сервисе уколико су му финансијски неприхватљиви, или из неких других разлога. Мора се тежити да се удовољи сваком типу корисника како би се одржало њихово интересовање. Паметна електроенергетска мрежа упоредо са развојем управљачке и комуникационе инфраструктуре мора развијати корисничке сервисе како би се корисници привукли и задржали.

При имплементацији паметне електроенергетске мреже мора се са пажњом прићи и проблему профитабилности и тежити ка зрелим технологијама и концептима. Посебна пажња мора се посветити управљању пројектом, а нарочито аспектима планирања и контроле. Крајњи циљ коректне имплементације паметне електроенергетске мреже је осигурање практичне вредности и завршетак пројекта у разумним временским роковима.

2.3. Тржишта електричне енергије

На тржиштима електричне енергије тргује се електричном енергијом. Јединица мере којом се тргује су мегаватчас (MWh). Тржишта електричне енергије могу бити малопродајног и великопродајног карактера. Малопродаја енергије представља продају енергије корисницима. Великопродаја енергије представља међусобну трговину између произвођача, трговаца и оператора. Дерегулација енергетског сектора и прелазак на комерцијални модел пословања захтевају да се трговина на тржишту мора одвијати у условима конкуренције, где се цена поставља на основу тржишних конкурентних метода. Цена производа на слободном тржишту одређује се кроз однос понуде и потражње. Понуда представља агрегацију производње и увоза који морају задовољити корисничку потражњу. Корисничка потражња мора бити задовољена колективно и поуздано, што значи да потражња свих корисника мора бити задовољена онда када је захтевана.

Цене електричне енергије могу зависити од цене горива, укупног трошка пуштања електране у рад (капитални трошкови), преносног капацитета, оперативних ограничења и карактеристика различитих генератора. Потражња је главни фактор у цени електричне енергије. Нагле промене и висока потражња могу експоненцијално повећати цену енергије. Оваква повећања потражње захтевају укључивање мање ефикасних и скупљих генератора који својим трошковима дижу цену енергије.

Потражња може бити базна потражња (енг. *Base load*) и вршна потражња (енг. *Peak load*). Због везе између цене енергије и потражње, цена такође може бити *Base* и *Peak*. Базна

потражња је потражња која је стабилног карактера, константна током сваког периода (дан, месец, година). На пример, у домаћинству фрижидери представљају ставку базне потрошње. Вршна потражња је потражња која се јавља у специфичним деловима дана или године. Због нееластичности потражње и њене везе са ценом електричне енергије ствара се јаз између базних и вршних цена. Због овог се јавља потреба за детаљном анализом променљивих које могу утицати на потражњу.

Вршна потрошња се јавља у касним поподневним сатима када се повећава комерцијална и потрошња на нивоу домаћинства. Додатна оптерећења која доводе до вршне потрошње су одређени периоди у току зиме и лета, када је потребно додатно хлађење или грејање. Дан у недељи такође битно утиче на потражњу. Током викенда индустријска и комерцијална активност је мања док је потрошња на нивоу домаћинства знатно већа. Током радних дана могу постојати варијације. Често понедељак и петак због своје блискости викенду имају повећану потрошњу, а ова специфичност је посебно изражена у летњим данима [6].

Потрошња се може сврстати у три категорије: резиденцијална, комерцијална и индустријска. Свака од ових категорија користи електричну енергију на другачије начине, што резултује другачијим профилима потрошње. Профил потрошње представља колективну потрошњу корисника подељену на временске интервале, претежно сате. Профил потрошње је раван уколико корисник конзистентно користи исту количину енергије током дана, и његова потрошња може ући у базну потражњу целе мреже. Уколико се користи више енергије у одређеним периодима дана, профил се може поделити у базни и вршни део. Варијабилност у потрошњи представља потешкоћу за операторе мреже, посебно ако се вршна потрошња јавља у исто време код великог броја корисника.

Класификацијом потрошача у наведена три типа може се грубо проценити потражња електричне енергије у некој регији. Резиденцијална потрошња у већини држава представља око 35% целокупне потражње. Овај тип потрошача користи енергију претежно за корисничке уређаје. Цена електричне енергије за резиденцијалне потрошаче је обично највиша због велике варијабилности потрошње и мреже ниског напона са већим губицима, на којој се домаћинства налазе. Комерцијални потрошачи су зграде, хотели, улично осветљење, продавнице и друге зграде неиндустријског карактера. Овај тип потрошње чини око 25–35% целокупне потрошње. Комерцијална потрошња је карактеристична по томе што грејање, хлађење и осветљење чини око половине ове потрошње. Индустријска потрошња у свету обично представља око 20–30% потрошње.

Овај тип потрошње има најнижу цену енергије због профила потрошње који је базног карактера и чињенице да је већина индустријских инсталација повезана на мрежу високог напона.

Географска локација битно утиче на потражњу. На пример, планински и морски предели у истој регији могу имати знатно различите профиле потражње. Демографија одређених регија је такође битна за праћење потражње енергије. Локације са већом популацијом имају већу потражњу, па је битно пратити трендове миграција између регија на дуже периоде. На потражњу утичу и временски услови и годишња доба. На пример, зими због краћег трајања обданице јавља се повећана тражња због осветљења у јутарњим и поподневним сатима. Поред годишњих доба битно је предвидети и промене у временским условима, на пример, периоди када су изразито високе или ниске температуре, који ће резултовати наглим повећањем тражње због грејања или хлађења. Економска активност такође утиче на цену електричне енергије, јер се може директно повезати са индустријском и комерцијалном активношћу. У периодима раста економске активности повећава се потреба за енергијом, док се током рецесије смањује.

Додатни проблем специфичан за тржиште електричне енергије је нефлексибилност потражње. Док се нефлексибилност на другим тржиштима може директно везати за цену производа, на тржишту електричне енергије то није случај. Имајући у виду историјске трендове оператори мреже морају планирати своје пројекте са основним циљем задовољења будуће потражње. Како би тржиште било функционално, оператор мреже мора управљати мрежом и генераторима тако да производња и увоз електричне енергије буду једнаки потражњи у сваком тренутку и на свакој локацији у мрежи.

Потражња електричне енергије директно утиче на цену, али ова веза није обострана. На пример, тренутним повећавањем цене није могуће смањити потражњу. Ова појава се може објаснити чињеницом да потрошачи, посебно они мањи, немају начина да буду благовремено обавештени о промени цене. Већини домаћинстава се рачун за потрошену енергију доставља једном месечно по фиксној регулисаној цени, па домаћинствима није од економског интереса да смањују потрошњу [100]. На потрошњу у домаћинствима је могуће утицати преко цене уколико је та промена регулисана и примењена на дуже временске рокове. Велики индустријски учесници на тржишту делимично су флексибилни и могу мењати или обуставити своју производњу уколико није економски исплатива због наглог раста цене електричне енергије.

Како би се ефикасно управљало потрошњом преко промене цене електричне енергије потребно је установити адекватну методу за одређивање цене [101]. У пракси се

примењују три модела за одређивање малопродајне цене електричне енергије. Сваки од ових модела може имати различите имплементације сходно локалним условима. Опште категорије за прорачун цене су: на основу времена коришћења, ценовник вршне потрошње и одређивање цене у реалном времену.

Цена која је одређена на основу времена коришћења није константна током целог дана [102]. Дан се дели у више периода, на период вршне потрошње и на периоде који нису вршни. Цена се одређује за сваки дан унапред и доставља корисницима. Обавештени корисници могу остварити уштеду уколико помере своју потрошњу на невршне периоде [24]. Ова метода није динамичка, пошто се вршни периоди одређују унапред а не у реалном времену.

Ценовник вршне потрошње је динамички метод обрачуна енергије. Ова метода се обично користи упоредо са неком од статичких метода. Метода се примењује само у случајевима када је потражња за електричном енергијом знатно већа од производње, као и у вршним периодима. Функционише тако што се у реалном времену препознаје висока потражња и сходно томе се повећава цена електричне енергије [103]. Динамичност ове методе се огледа у томе да се вршни периоди одређују на основу услова на тржишту који нису унапред постављени.

Одређивање цене у реалном времену је метода у којој се често и редовно мења цена електричне енергије. Цена се рачуна на основу односа понуде и потражње. Ова метода је једна од најкомплекснијих, јер се заснива на потпуном познавању тржишта и потрошача. Коришћењем ове методе може се ефикасно и тачно манипулисати потражњом и производњом због смањења јаза између њих. Ова метода захтева развијену мерну и комуникациону инфраструктуру како би се у реалном времену пренеле информације о корисничкој потрошњи и обавестио корисник о промени цене.

Најбитнији фактор у обликовању потражње електричне енергије је корисник и његова иницијатива да учествује у тржишту. Велики број корисника жели да смањи потрошњу електричне енергије и многи сматрају да је тржиште један од начина да се уштеди новац. Анкета [100] је показала да је чак 65% корисника било за увођење отвореног тржишта.

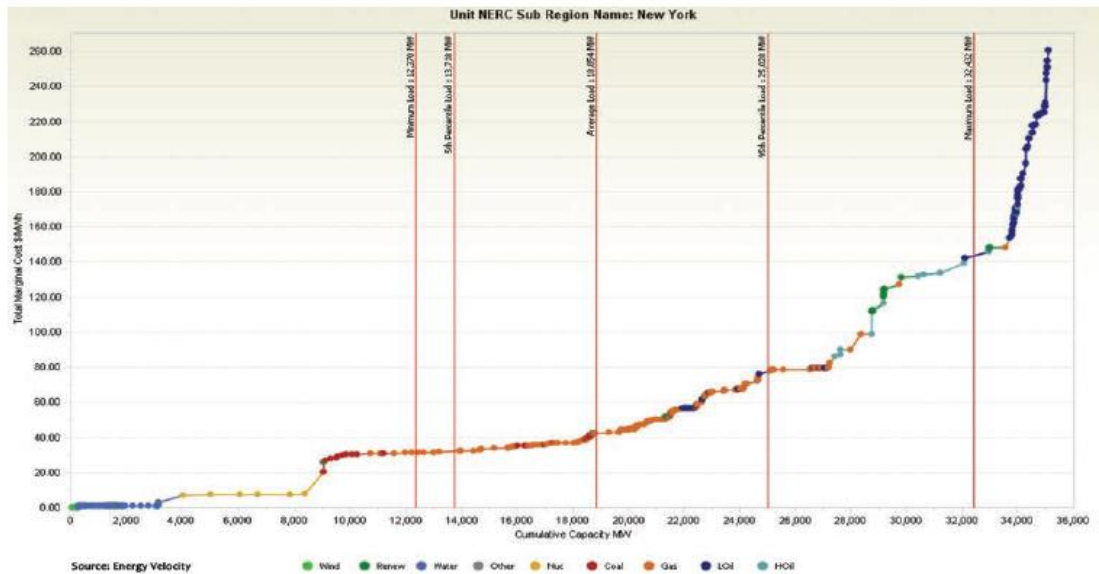
Гашење делова мреже је такође прихватљив начин директног утицаја на смањење потрошње у систему. Овај приступ је драстичан, али у појединим тренуцима неопходан, што се посебно може приметити у државама са константно преоптерећеним електроенергетским системима [104].

Прогноза потражње представља још један битан фактор у цени електричне енергије. Да би се ефикасно задовољила сва потражња електричне енергије, оператори морају планирати активности и развој инфраструктуре. Исто се односи и на произвођаче који треба да су свесни потражње, како би имали довољно горива, особља и других ресурса за очекиван рад генератора. Уколико прогнозе нису тачне и уколико постоји знатно одступање, долази до повећања цене електричне енергије. Прогнозе потрошње се врше применом математичких модела.

Прогнозе се могу поделити у три категорије, по периоду предвиђања: краткорочна, средњорочна и дугорочна предвиђања. У краткорочна предвиђања се сврставају она која се односе на периоде од једног сата до једне недеље. Средњорочне прогнозе се врше на периоде од једне недеље до једне године, а дугорочне прогнозе на дуже од једне године. Коришћењем података на располагању оператору, могуће је предвидети потражњу за дан унапред са тачношћу од 1 до 3%. Кратке прогнозе највише зависе од тачних прогноза временских услова. Краткорочне прогнозе претежно користе оператори преносне мреже за процену оптерећења мреже, како би на време зауставили преоптерећење преносног система. Прогнозе средњег и дугог карактера заснивају се на историјским подацима, временској прогнози, броју корисника по категоријама, уређајима који се користе и њиховим спецификацијама, као и економским и демографским факторима. Прогнозе средњорочног карактера обично се користе за прогнозу вршних периода, и највише се ослањају на историјске податке. Дугорочне прогнозе се праве за периоде од десет до двадесет година и користе се за планирање инфраструктуре и инвестиција.

Поред спољних фактора који су везани за потрошњу, постоје и интерни фактори. Оператори система ангажују електране на начин који осигурава покривање потрошње, стабилност система и најнижу цену рада електрана. На основу ових услова формулише се план ангажовања електрана. На основу ангажовања електрана и њихових трошкова одређује се тржишна цена електричне енергије.

На слици 12 се може видети графикон који приказује ангазоване капацитете по типовима генератора. Вертикална оса представља цену електричне енергије, док хоризонтална представља ангажовани капацитет унутар целе мреже. На слици се може приметити како се са повећањем потребног капацитета ангажују другачији типови електрана, и како се сходно томе повећава цена електричне енергије.



Слика 12. Капацитети по типовима генератора за њујоршки електроенергетски систем [105]

Трошкови електрана могу се сврстати у две категорије: капитални трошкови и оперативни трошкови. Капитални трошкови представљају трошкове грађења и пуштања електране у рад. Оперативни трошкови представљају трошкове одржавања и рада електране. По односу између ова два трошка могуће је класификовати електране на оне са високим капиталним и ниским оперативним трошковима и електране са ниским капиталним и високим оперативним трошковима. Електране са високим капиталним трошковима су тешке за изградњу и пуштање у рад. Пример ових електрана су нуклеарне електране чији су оперативни трошкови ниски. Електране са ниским капиталним трошковима лако и брзо се могу изградити, али су њихови оперативни трошкови високи. Пример оваквих електрана представља гасна турбина.

Цена електричне енергије која се плаћа на тржишту обично представља цену коју је поставио најскупљи ангажовани генератор, то јест цена електричне енергије се одређује преко маргиналне цене.

Додатни интерни фактор који може утицати на цену електричне енергије су обновљиви извори енергије. Један од проблема представља мерење капацитета електрана, за потребе планирања. Мерење капацитета соларних панела представља потешкоћу јер реални капацитет често није једнак декларисаном. Капацитет се смањује у односу на: старост соларног панела, коришћење, одржавање и окружења у коме се налазе. За ветрењаче је специфично да није могуће контролисати њихову генерисану енергију која не зависи само од ветра. Додатни проблем је чињеница да у периодима када се јавља вршина

потрошња, њихова производња је обично на најнижим нивоима. Када се анализира утицај обновљивих извора, потребно је сагледати и државну регулативу. Честа је пракса да их држава субвенционира и тиме смањује капиталне и оперативне трошкове ових електрана.

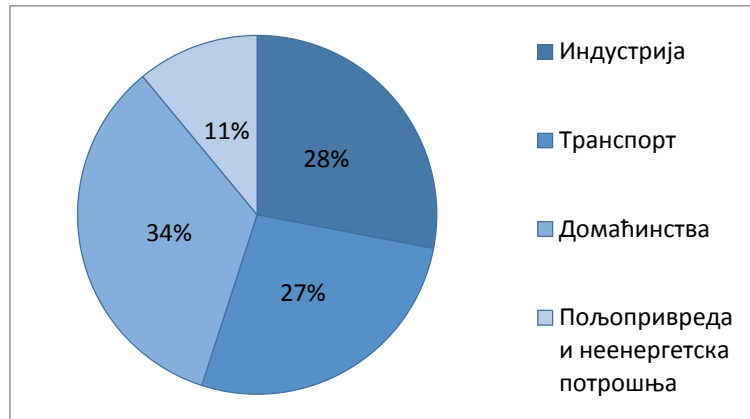
За учешће на тржишту потребно је имати у виду да сва енергија која се производи мора бити пренесена од произвођача до потрошача, што је улога оператора преносне мреже. Зависно од оператора могу се нудити различити сервиси учесницима на тржишту. Једна од њих је *point-to-point* пренос енергије који се користи када је потребно увозити или извозити енергију. Овај сервис подразумева плаћање и резервацију одређеног капацитета на одређеној траси. Капацитет је могуће резервисати за различите рокове од петнаестоминутног до годишњег. Капацитет се додељује зависно од дужине рока. Прво се резервишу вишегодишњи капацитети, а након тога капацитети за краће рокове. Резервисаним капацитетима је могуће трговати на тзв. секундарном тржишту. Овај капацитет се може лако монетизовати уколико је цена енергије на изворној тачки виша од цене енергије на одредишту. Цена по којој се овај капацитет може продати на секундарном тржишту представља разлику између одредишне и изворне цене.

2.4. Балансна тржишта и помоћни сервиси

Производња електричне енергије је строго контролисана активност у традиционалним електроенергетским мрежама. Овај ниво контроле је неопходан како би производња била једнака потражњи. Уколико би потрошња електричне енергије била знатно већа од производње, стабилност система би била угрожена. Слична ситуација се дешава уколико се производи више електричне енергије него што је потребно. Директна зависност између потрошње и производње може се видети у промени фреквенције електроенергетског система.

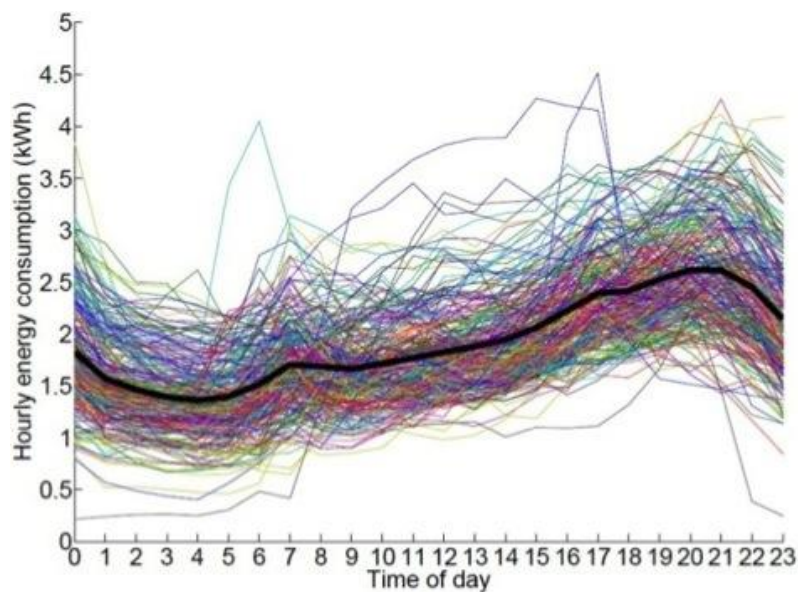
Девиијација од прописане фреквенције указује на дебаланс система. Овим променама је потребно управљати како не би дошло до пада система. Управљање фреквенцијом обавља се преко контроле потрошње или производње унутар мреже. Уколико дође до критичних ситуација, када није могуће самостално повратити баланс у мрежи, постоји могућност увоза балансне енергије преко интерконекције.

Домаћинства чине велики део потрошње електричне енергије, што се може видети на слици 13. Напредак технологије и лакоћа прихватања новијих технологија директно утичу на повећање потражње домаћинстава, која стабилно расте већ дуги низ година.



Слика 13. Светска потрошња енергије по секторима [106]

Додатни проблем у вези са потрошњом у домаћинствима је разноликост расподела и велике варијансе потрошње. Предвиђање потрошње домаћинстава представља велики изазов, због великог броја интерних и екстерних фактора. Пример потрошње једног домаћинства може се видети на слици 14.



Слика 14. Потрошња једног домаћинства током једне године [107]

Управљање системом са варијансама потрошње захтева резервацију капацитета који ће бити активирани само за ове околности. Контролисано коришћење енергије из резервисаних капацитета зове се балансирање или регулација. Да би генератор учествовао у регулацији мора функционисати на 70–80% максималног капацитета, док се остатак капацитета држи у приправности ако се појави повећана потрошња. Контролом преосталог капацитета бави се диспечер који надгледа фреквенцију електроенергетског система и ангажује капацитете генератора.

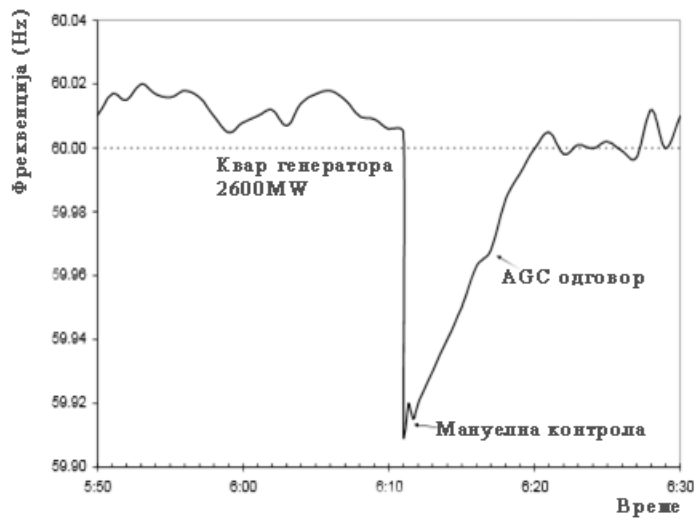
Фреквенција наизменичне струје у електроенергетском систему представља главни индикатор стабилности система. Фреквенција се може измерити на било којој тачки електроенергетског система. Одступање од прописане фреквенције указује на разлику између производње и потрошње електричне енергије у систему. Фреквенција пада уколико је потражња већа него производња. Фреквенција расте уколико је производња већа него потражња. Велике девијације у фреквенцији резултују оштећењем уређаја који су прикључени на мрежу и могу довести до колапса читавог система.

Проблем управљања фреквенцијом огледа се у њеној зависности од више милиона уређаја прикључених на електроенергетску мрежу, при чему се сваки од уређаја понаша на специфичан начин. Фреквенција електроенергетског система мора бити строго надгледана и њеном девијацијом се мора управљати. Да би се осигурала минимална девијација у фреквенцији, оператор мреже мора ускладити производњу електричне енергије са потражњом. Постоје строга правила којима се регулише фреквенција електроенергетског система, и њих прописује држава.

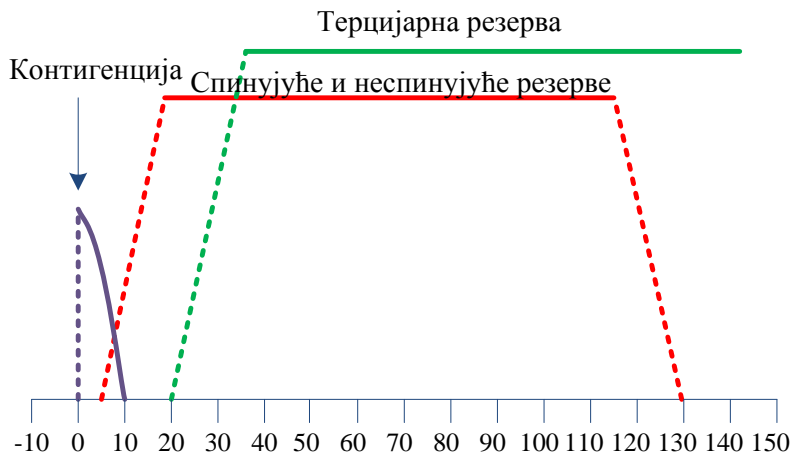
2.4.1. Контигенције

Контигенције или непредвиђене околности се могу десити у било ком тренутку. Као одговор на ове ситуације уведене су контигентне резерве које су способне да врате баланс систему уколико дође до квара неког од главних генератора или преносних линија. Кварови су ризични догађаји на које се мора тренутно реаговати. Због захтеване брзине реакције, није могуће коришћење класичног тржишта електричне енергије.

На контигенцију се мора реаговати у интервалу од неколико секунди до неколико минута да не би дошло до колапса целокупног система. На слици 15 је приказана промена фреквенције система у тренутку контигенције. Пракса која се користи у овим случајевима је да свака држава обезбеди довољно контигентних резерви да би покрила пад својих највећих електрана. Како би се систем вратио у почетно стање потребно је ангажовати више помоћних сервиса који координисано враћају енергију у систем и доводе га у стабилно стање. Сервиси који се користе за ове сврхе су: ротирајуће (спинујуће), неспинујуће и суплементалне резерве. Одговор ових сервиса на контигенцију се може видети на слици 16.



Слика 15. Промена фреквенције при квару генератора од 2600MW [4]



Слика 16. Одговор помоћних сервиса на контингенцију [4]

Постоје два механизма контроле фреквенције електроенергетског система. Први механизам се користи у неконтингентним условима. У овим условима генератори игноришу фреквенцију система. Сваки генератор има контролер који постаје активан уколико фреквенција пређе $\pm 0.35\text{Hz}$ од прописане фреквенције.

При раду у нормалним условима користе се механизми преко којих се постиже адекватна контрола фреквенције, али је она превише спора да одговори на пад у фреквенцији уколико дође до контингенције. Ове непредвиђене околности захтевају тренутни одговор генератора, како не би дошло до колапса система. Рад при неконтингентним условима може се видети на слици 17, док се рад при контингентним условима може видети на слици 18.



Слика 17. Рад при неконтингентним условима



Слика 18. Рад при угроженим условима

При раду у неконтингентним условима, неће се активирати контролери на генераторима. Секундарна контрола, или секундарна регулација, има одзив од шест секунди до петнаест минута, што представља прихватљив одзив за рад у неконтингентним условима. Секундарном регулацијом се управља преко рачунарских контролера који су стриктно контролисани и раде по прописаним условима.

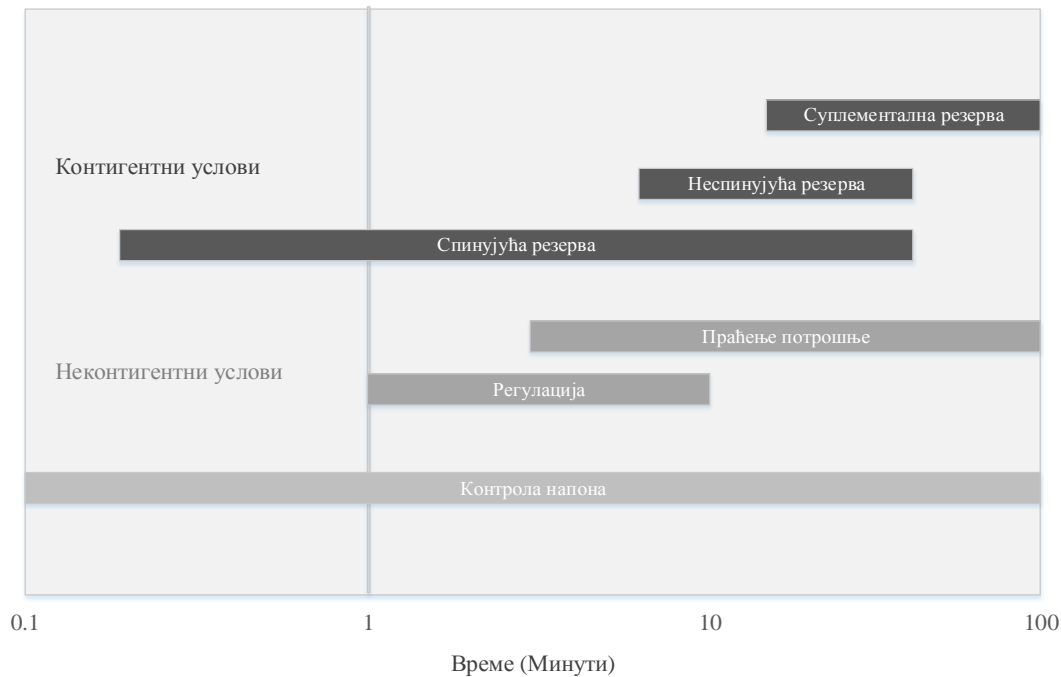
Терцијарна регулација је најспорији вид регулације. Терцијарна регулација има одзив од 30 до 60 минута. Терцијарна регулација није рачунарски управљана већ функционише по принципу тржишта где сваки генератор даје своју понуду за терцијарну регулацију на сатном или нижем нивоу које оператор накнадно може активирати.

2.4.2. Класификација помоћних сервиса

Електрична енергија и капацитет су основни производи који се нуде на тржишту. Међутим, они нису довољни да би се обезбедио стабилан рад електроенергетског система. Стабилан рад електроенергетског система постиже се увођењем помоћних сервиса. Помоћни сервис нуде оператору система ресурсе који су му потребни за тренутно, односно континуално балансирање система. Ови сервис се користе да би се обезбедио несметан рад система при контингентним и неконтингентним условима.

Примарна, секундарна и терцијарна контрола постижу се коришћењем помоћних сервиса. У конвенционалним електроенергетским мрежама оператори управљају овим сервисима лично или прописују ко ће их обављати. Како се све више увиђају користи отворених тржишта и монетизације услуга, јавља се потреба за увођењем балансних тржишта. Да би се основало балансно тржиште потребно је тачно дефинисати сервисе и стандарде по којима функционишу. Помоћни сервис се класификују по брзини одзива, захтеваном трајању и фреквенцији одзива. Правило је да се бржи и сервис са већом фреквенцијом плаћају више. Дужина трајања одзива не утиче на цену. Тачност одзива је битна због предвиђања стања система након активације сервиса.

Помоћни сервис се деле у три групе. Прва је директно везана за континуалну контролу фреквенције при неконтингентним условима (регулација и праћење потражње). Друга група нуди резерве које стоје у приправности уколико дође до контингенције (спинујућа резерва, неспинујућа резерва и суплементална резерва). Трећа нуди сервисе везане за контролу напона и црни старт. На слици 19 се могу видети брзина одзива сваког од сервиса као и захтевано трајање. У табели 3 се може видети преглед сваког од ових сервиса.



Слика 19. Помоћни сервиси

Табела 3. Помоћне услуге и њихове спецификације

Услуга	Опис услуге		
	Брзина одзива	Трајање	Трајање циклуса
Неконтингентни услови			
Регулационе резерве	Укључени генератори који одговарају на рачунарске команде. Имају могућност брзог одговора на захтеве оператора за регулацију на доле или горе. Користи се за праћење минутних флукуација система.		
	~1 минут	У минутима	Неколико минута
Праћење потражње и тржишта брзе електричне енергије	Велика сличност са сервисима регулације само са спорим одзивом. Користи се као амортизациона зона између регулације и тржишта електричне енергије који раде на сатном нивоу.		
	~10 мин.	10 мин. до 60 мин.	10 мин. до 60 мин.
Контингентни услови			
Спинујуће резерве	Укључени генератори који су синхронизовани са електроенергетском мрежом. Могу повећати своју тренутну производњу у случају пада генератора или далековода. Достижу свој пуни капацитет у року од 10 минута.		
	до 10 мин.	10 мин. до 60 мин.	60 + мин.
Неспинујуће резерве	Слично спинујућој резерви, с том разликом што нема потребе за тренутним одговором. Генератори могу бити искључени али морају одговорити у року од 10 минута.		
	до 10 мин.	10 мин. до 60 мин.	60 + мин.

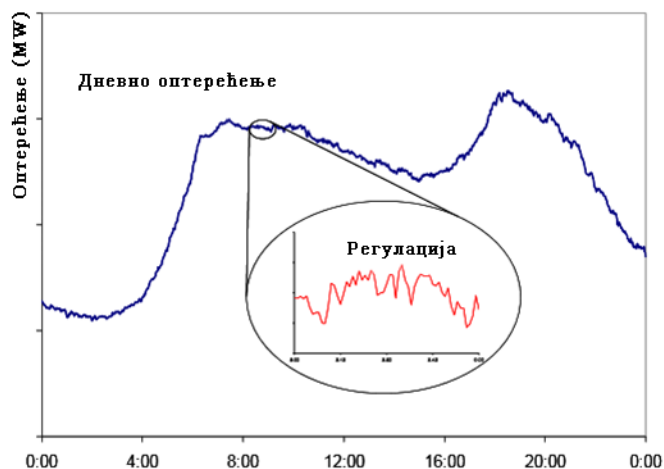
Суплементална резерва	Користи се како би се „ослободили“ ангажовани спинујући и неспинујући генератори вратили на стање пре контингенције.		
	30 – 60 мин.	120 мин.	60 + мин.
Други сервис			
Контрола напона	Инјекција и апсорпција реактивног напона ради одржавања трансмисионих напона.		
	Секунде	секунде	континуално
Црни старт	Генератори који имају могућност покретања без помоћи електроенергетске мреже. Ови генератори морају имати довољне реалне и реактивне могућности како би се могли користити за покретање остатка мреже.		
	Минути	Сати	30 + дана

На слици 20 се може видети структура капацитета једног генератора на којем се могу уочити структура капацитета једног генератора које нуди помоћне сервисе.



Слика 20. Структура капацитета једног генератора

Регулација, праћење потражње и тржишта брзе електричне енергије су сервиси који се баве континуалним балансирањем при неконтингентним условима рада. На слици 21 је пример потрошње током једног дана који се састоји од јутарњег скока, дупле вршне потрошње и ноћног пада.



Слика 21. Потражња током једног уобичајеног радног дана, са континуалном регулацијом [4]

Регулација је сервис који компензује минутне флукуације, док праћење потражње представља одговор на спорије и предвидљивије промене у систему. Регулација користи укључене генераторе који су опремљени контролером за аутоматску контролу производње (енг. *Automatic generation control*, AGC). Контролер омогућава брзу промену количине произведене енергије и мери се у MW/мин. Минутна резолуција указује да се фаворизују брзе промене снаге.

Регулација се користи за одржавање фреквенције интерконекије, управљање планираним и оствареним трансферима енергије између балансних зона, као и одржавање склада производње и потрошње. Додатни услов за регулацију је усклађивање фреквенције балансне зоне са интерконекијом. Фреквенција интерконекије се мери сваког минута. Уколико је фреквенција интерконекије виша од прописане, потребно је да фреквенција балансне зоне буде нижа. Уколико је фреквенција интерконекије нижа од прописане, потребно је да систем буде у вишој фреквенцији. Типични електроенергетски систем користи 1–2% своје вршне потрошње за потребе регулације.

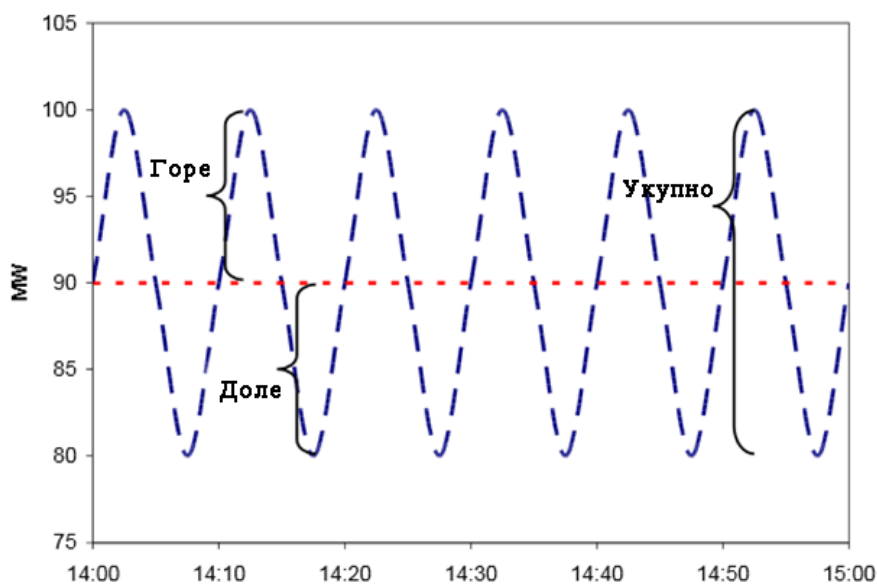
Праћење потражње захтева онлајн генераторе, батерије или управљиву потрошњу како би се пратила потражња на сатном и унутарсатном нивоу. Праћење потражње се не реализује директно као регулација већ преко директног утицаја на цену електричне енергије и преко формирања тржишта брзе електричне енергије. Разлике између регулације и праћења потражње могу се видети у табели 4.

Регулација која функционише на минутном нивоу је капацитетни сервис. Капацитетни сервис подразумева коришћење резервисане енергије, а не непредвиђено повећање производње. Тржиште електричне енергије као и праћење потражње су енергетски сервиси где се повећава и смањује активна производња неког генератора.

Табела 4. Поређење регулације и праћења потражње

	Регулација	Праћење потражње
Узрочност	Случајна и некорелисана	Корелисана
Контрола	AGC	Ручно
Максимални <i>swing</i>	Мали	10–20 пута веће од регулације
Брзина MW/min	5–10 пута веће од праћења	споро
Промене знака по ангажовању	20–50 пута више од праћења	2–4

Регулација се може поделити на регулацију на „доле“ и регулацију на „горе“. Регулација на горе представља додатно ангажовање генератора, док регулација на доле представља смањење производње. Зависно од имплементације тржишта и ценовника, могуће је посматрати количину регулације или количину регулације и смер. У српском балансном тржишту посматра се смер регулације и количина регулације. На слици 22 може се видети регулација једног генератора чија је производња 90MW. Он осцилује између 90MW и 100MW. Уколико би смер био битан, то би се посматрало као 10MW регулације на горе и 10MW регулације на доле. Уколико смер регулације не би био битан могло би се посматрати као 20MW регулације.

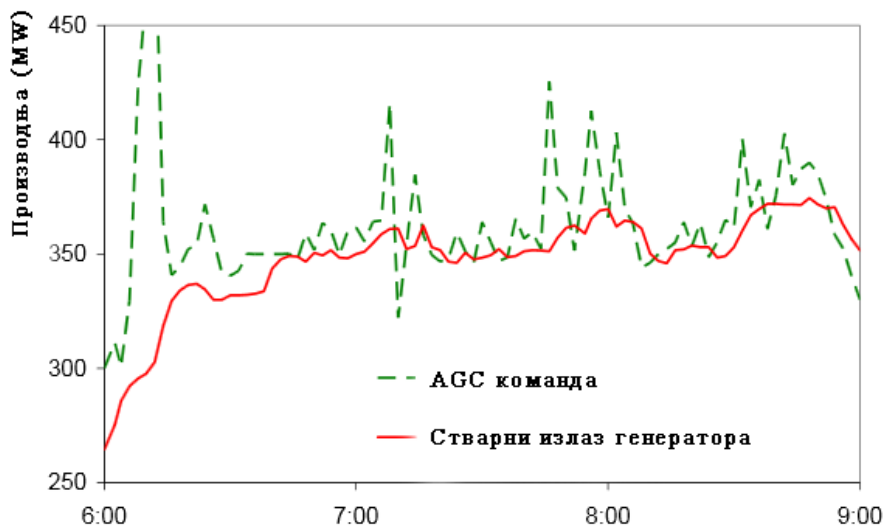


Слика 22. Пример регулационе активности генератора [4]

Постоји велики број метрика које указују на тачност балансирања између потражње и производње. Недостатак је непостојање метрике која указује на тачност којом генератори могу да прате AGC сигнале. У будућности се очекује да ће тачност ангажованих генератора бити једна од мера за успостављање цена регулације. На слици 23 се може видети одговор једне термоелектране на AGC сигнал. Термоелектране обично имају најлошију тачност одговора на AGC команду.

Постоје сертификације генератора које се користе за утврђивање могућности за одговор на AGC позив. Сертификовање генератора се ради у редовним интервалима, и уколико се примете проблеми при одзиву, електране се уклањају из регулационог система. Чињеница је да већа тачност регулације повлачи мању потребу за регулационом енергијом. На пример, ако посматрамо електроенергетски систем од 30000MW, регулација за овај систем се може вршити са 450MW регулационог капацитета који је

пореклом из термоелектрана, или са 350MW преко коришћења електрана са прецизнијим одзивом на AGC сигнал. У већини данашњих тржишта би се за ова два приступа плаћала иста цена по MW регулације.



Слика 23. Однос захтеване енергије преко AGC команде и ангазоване енергије [4]

2.4.3. Пословање на балансном тржишту

Пословање на балансном тржишту електричне енергије претежно се обавља електронски, коришћењем Б2Б модела електронског пословања. Балансна тржишта као своју основну делатност имају примарну, секундарну и терцијарну регулацију. Послови унутар тржишта се могу грубо поделити унутар две групе: пословни процеси контроле система и пословни процеси финансијског поравнања учесника на тржишту. Због примене *smart grid* и других иновативних технологија, као и због повећања потрошње електричне енергије и нових учесника на тржишту, генеришу се информације у таквом обиму да их није могуће обрадити ни ручно ни у оквиру традиционалних информационих система. Традиционално, пословни унутар балансног тржишта изводили су се телефонским путем. Међутим овај вид комуникације се показао као неефикасан због наглог раста обима пословања и броја трансакција. Раст пословања се јавља при отварању тржишта и жеље за већом транспарентношћу и ефикасном разменом информација, како између постојећих, тако и за широк круг потенцијално нових учесника на балансном тржишту. Један од ефикасних начина да се изађе на крај са новонасталим проблемима и комплексностима у пословању је формирање нових софтверских Б2Б платформи које су специјализоване за

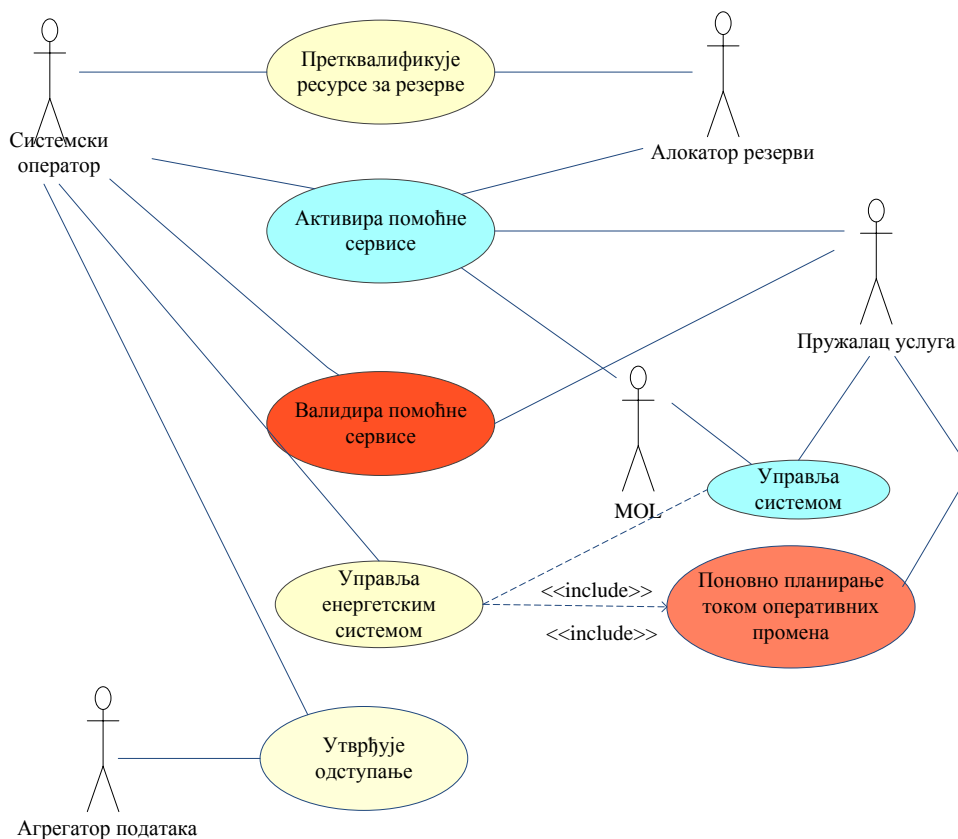
енергетска тржишта. Ове платформе свој рад заснивају на стандардизацији пословања свих учесника унутар тржишта електричне енергије. Тиме се постиже ефикаснија сарадња и интерконекциона размена електричне енергије. Стандардизација пословних процеса, комуникационих токова, и формата докумената за Европу је додељена регулационом телу ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity). Стандардни пословни процеси и производи идентификовани од стране ENTSO-E су услуге: примарне, секундарне и терцијарне резерве. Терцијарну резерву је могуће даље разврстати на два додатна сервиса: SATCR (*Schedule Activated Tertiary Control Reserve*) и DATCR (*Directly Activated Tertiary Control Reserve*). SATCR је једино могуће активирати по унапред дефинисаном распореду, по унапред дефинисаном трајању. DATCR је могуће активирати у било ком моменту, независно од дефинисаних распореда. Битна разлика између DATCR и SATCR је што DATCR није могуће аутоматизовати јер захтева ручно одобравање, док је SATCR претежно аутоматизован. Помоћни сервис се на тржишту остварују преко уговора у периодима од месец, годину дана или на дуже периоде. Међутим, све више учесника на тржишту користе „дан-унапред“ аукциону платформу ради остваривања права на продају или куповину балансне енергије.

Због међуповезаности енергетских система постоји могућност пословања у прекограничним тржиштима, где учесник једног тржишта може нудити своје балансна услуге на тржишту суседне државе. Пословање на тржишту електричне енергије могуће је дефинисати преко основних улога које актери могу имати унутар тржишта. Пружалац услуга поседује балансне сервисе и пружа оператору потенцијалне распореде за њихову активацију. Сервис се у овом смислу посматра као генератор или управљива потрошња која је унапред пријављена. Другу улогу представља оператор система који послује са пружаоцима услуга, и активира различите понуде зависно од својих интерних правила и достављених распореда.

На слици 24 се може видети дијаграм случајева коришћења за пословање на балансном тржишту, где се могу препознати четири улоге [108]:

1. Пружалац услуга пружа помоћне сервисе и нуди дневне извештаје о својој потрошњи и производњи.
2. Алокатор резерви поставља предуслове за сваку од услуга, прима тендере од пружалаца услуга за сертификацију, и одобрава их.

3. Системски оператор осигурава да електроенергетска мрежа под његовим надзором буде способна да задовољи рад тржишта као и унапред прописана безбедносна ограничења.
4. Тело одговорно за *merit order* листу (енг. *Merit Order List*, MOL) узима у обзир све активне аукције и поставља редослед у којем ће се резерве активирати.



Слика 24. Дијаграм случајева коришћења за пословање на балансном тржишту [108]

Пре него што неки пружалац услуга пласира своје понуде на тржишту, мора се утврдити да ли он и његови ресурси испуњавају тржишне и техничке услове. Сваки од ресурса мора бити квалификован за одређен тип сервиса, нпр. секундарну или терцијарну регулацију, и мора да испуни постављене техничке и правне захтеве. Битан предуслов за квалификацију сваке од услуга је да ресурси морају бити придружени једној или више мерних тачки, иза којих треба да стоји бројило. Техничка ограничења обично се односе на могућност идентификације ресурса, и мерења њихових перформанси. Пружилац услуга за сваки ресурс мора доставити карактеристике као што су капацитет, брзина одговора, активационо време итд. Уколико пружалац услуга и његови ресурси испуњавају постављене захтеве, могуће је удружити више ресурса у један скуп. Овај скуп ресурса може деловати на тржишту као један ентитет, и поједноставити административне

и пословне процедуре. При успешној сертификацији, оператор система обавештава алокаatora резерви о могућем учешћу пружаоца услуга на тржишту.

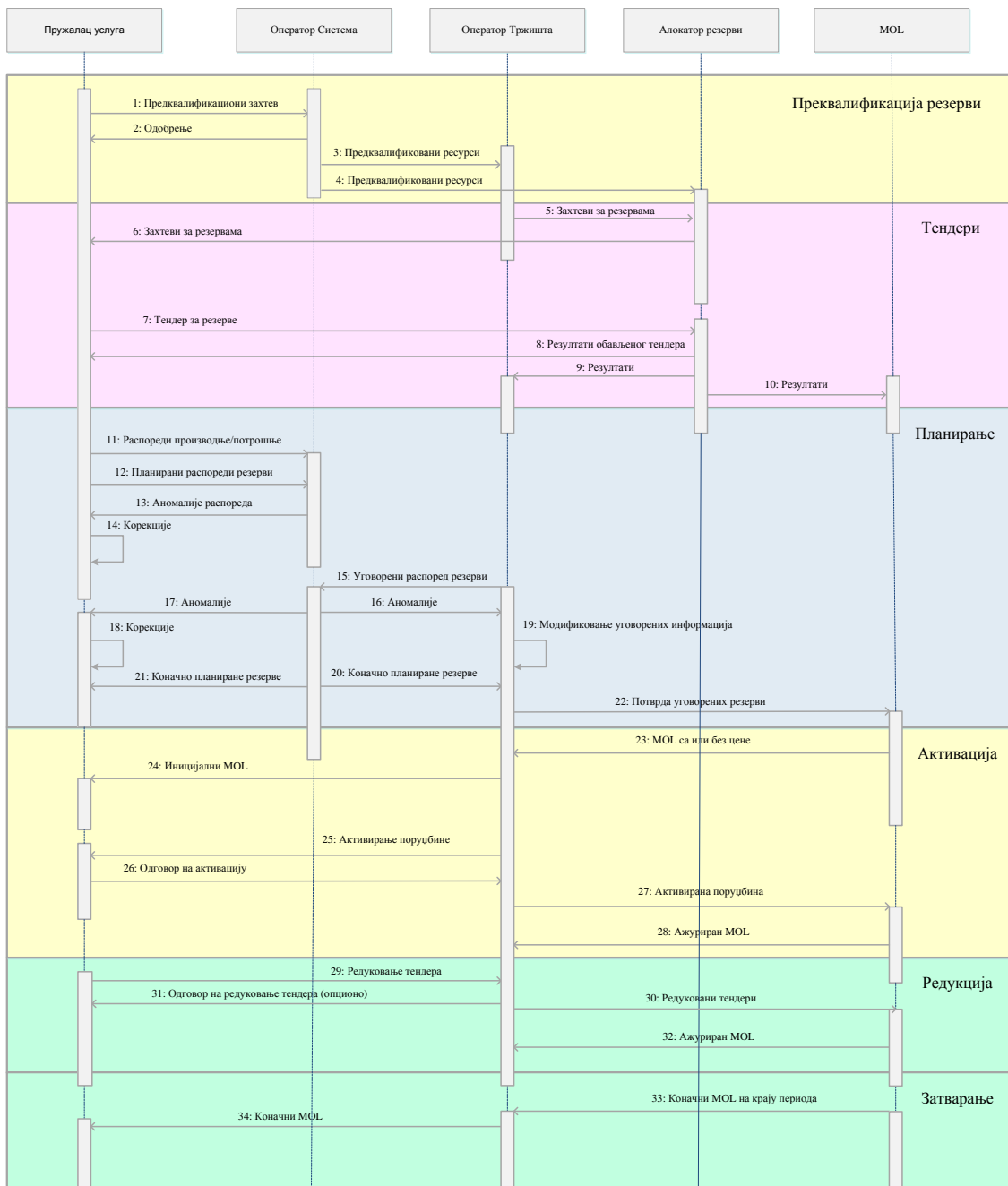
Након дозволе за учествовање на тржишту пружалац услуга може учествовати у аукционом процесу. При постављању тендера за право на помоћне сервисе, формира се мерит ордер листа, која дефинише којим редоследом би оператор мреже активирао ресурсне тендере у случају потребе. За одржавање ове листе може бити задужено ново правно тело, међутим, општа пракса је да су тело задужено за MOL и оператор мреже заправо исто предузеће. Процес аукције и публикације тендера на тржишту врши алокатор резерви на унапред постављеним интервалима (дан, месец, година), и позива понуђаче да доставе своје понуде. Начин на који се понуђачи позивају за понуде и начин достављања понуда зависи од тржишних правила као и од законских регулатива. Тендер мора садржати цену за резервацију доступности, као и цену за активацију резерви. Оператор система бира понуде на недискриминаторни начин само на основу односа цене и перформансе ресурса као и системских ограничења. Након одабира понуде, о успешном одабиру понуде се обавештава пружалац услуга, и ресурс се спрема на активацију.

Валидација је процес провере спремности пружалаца услуга и њихових ресурса. За планске валидације као и непланиране валидације задужен је оператор мреже. Валидација подразумева проверу рада индивидуалних ресурса или скупова ресурса као и провере целокупног капацитетног опсега за регулацију, у прописаним периодима, ради одржавања стабилности. Валидација као тржишни механизам обично се обавља само за терцијарну регулацију, док секундарна и примарна регулација не подлежу тржишној валидацији јер се њихова спремност утврђује преко других процеса. Валидација терцијарних резерви односи се на испуњење два критеријума. Да су планиране активације резерви технички могуће, као и њихове перформансе у односу на прописана ограничења. У случају да се понуда шаље за скуп ресурса а не за појединачно, оператор мора осигурати да сваки ресурс може понудити обећани капацитет. Уколико дође до проблема при валидацији, оператор система обавештава пружаоца услуга због евентуалне исправке. Уколико је проблем административне природе, као погрешни формат документа или грешка унутар система, захтева се од понуђача да поново пошаље своју понуду у правилном формату. Уколико је проблем ван контроле пружаоца услуга (нпр. квар ресурса), он мора послати документ којим обавештава оператора о томе. Основни задатак овог процеса је да се осигура да понуђачи могу продати само онолико резерви за колико су њихови ентитети способни.

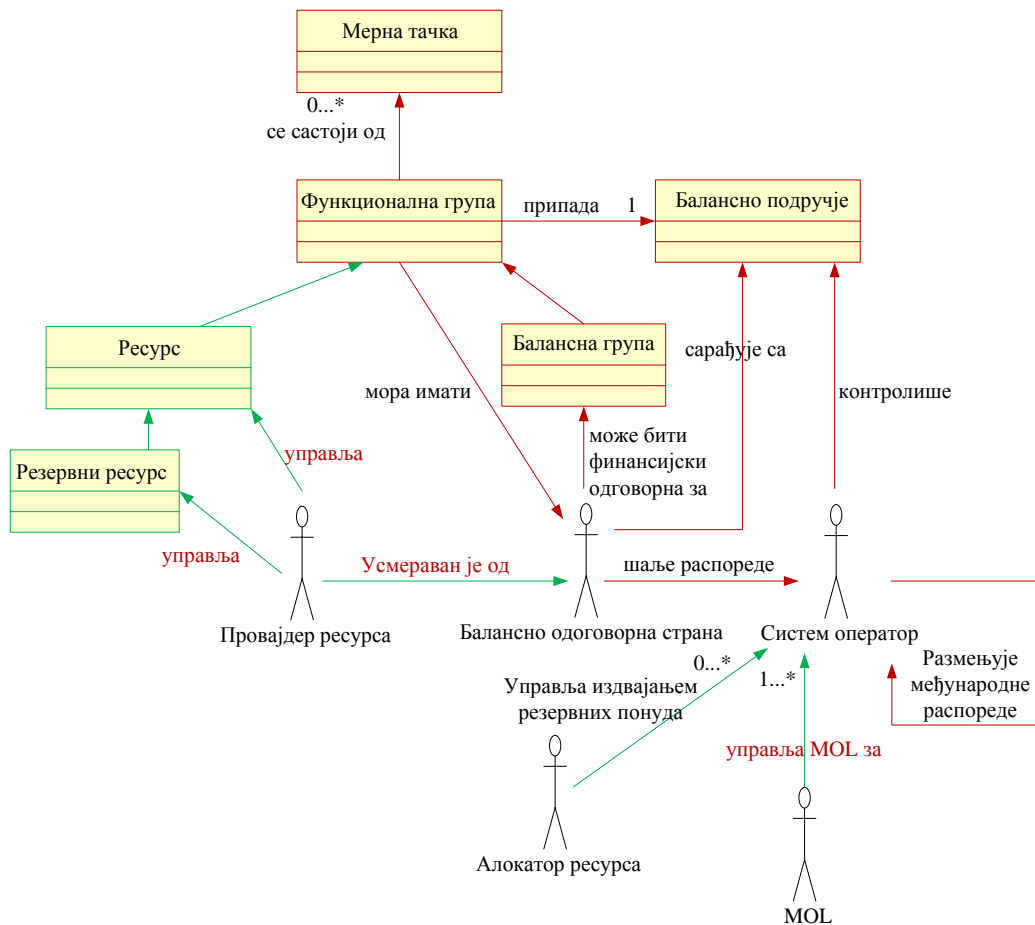
Процес операције система подразумева два подпроцеса: редовни рад система и поновно планирање при оперативним променама. Балансно одговорне стране су одговорне за свој индивидуални баланс, који представља збир производње и куповине умањен за потрошњу и продају енергије. Од сваког балансно одговорног лица очекује се да му баланс буде на нули. Акумулирано одступање балансно одговорних тела представља основни проблем који мора да разреши оператор система. Оператор система ове девијације мора надокнадити активирањем помоћних сервиса, то јест секундарне и терцијарне резерве. Поновно планирање плана рада резерви врши се при паду неког од генератора, великих девијација у производњи и потрошњи, пада делова мреже, сметњи на мрежи, као и других разлога. Овај промењени план рада прослеђује се пружаоцима услуга до краја тог дана. Као резултат ове промене настаје нова мерит ордер листа.

Поред поновног планирања постоје и случајеви где долази до поремећаја у активацији тендера, али овај поремећај не резултира променом целокупног плана. Ове ситуације се зову редукције. Овај поремећај се обично јавља када при активацији тендера ентитет који треба да одговори није у могућности да одговори, било због квара или других разлога. Други случај у коме може доћи до редукције је уколико понуђач услуга дође до увида да није у стању да понуди целокупни капацитет на који се обавезао и о томе обавести оператора система. Оператор система на основу информација које су му доступне ажурира мерит ордер листу и наставља са активацијама.

На слици 25 може се видети детаљан приказ пословања балансног тржишта, по учесницима. Детаљан приказ указује на размене одређених типова докумената, и интеракција између учесника. На слици се могу видети детаљни прикази кључних тржишних процеса квалификације, тендеровања, планирања, активације, редукције и затварања.

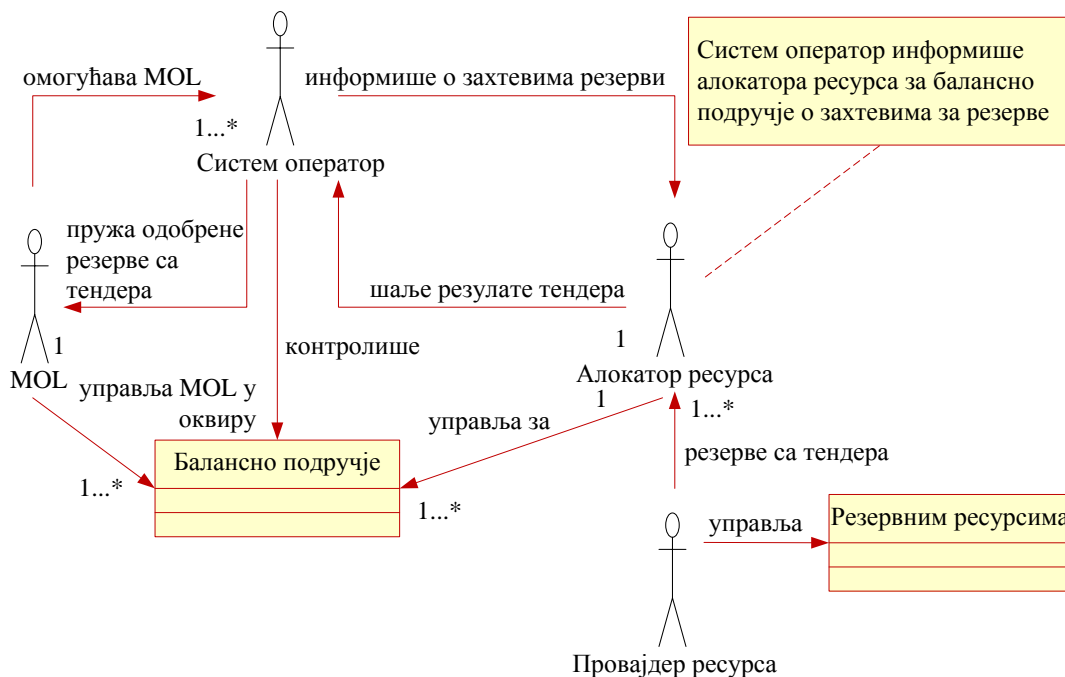


Слика 25. Секвенцијални дијаграм за целокупни пословни процес пословања на балансном тржишту [108]



Слика 26. Улоге које учесници на тржишту могу имати, и њихове интеракције [108]

На слици 26 можемо приметити пет основних улога на балансном тржишту: понуђач услуга, балансно одговорну страну, оператора система, алокатора резерви и MOL одговорну страну. Понуђач услуга увек поседује ресурсе, који могу али не морају бити коришћени за потребе помоћних сервиса. Ови ресурси се могу груписати у функционалне групе, које морају бити придружене једном или више бројила. Понуђач услуга може бити део балансно одговорне групације, или може бити балансно одговорна страна. Овим се понуђач услуга обавезује на балансиран дневни распоред свог пословања. Балансно одговорна страна може бити финансијски одговорна за све партије унутар једне балансне групе и генерално садржи више ресурса и мерних тачака. Балансно одговорна страна послује унутар тржишне зоне за коју је одговоран оператор система, коме шаље своје дневне распореде. Оператор система управља тржиштем и сарађује с другим операторима система због реализовања међународних баланских трансакција. Алокатор резерви се бави процесом тендеровања и резултате аукција доставља оператору система, док MOL одговорна страна код себе држи ажурну MOL листу, коју стално усклађује са оператором система. Детаљније интеракције ових учесника можемо видети на слици 27.



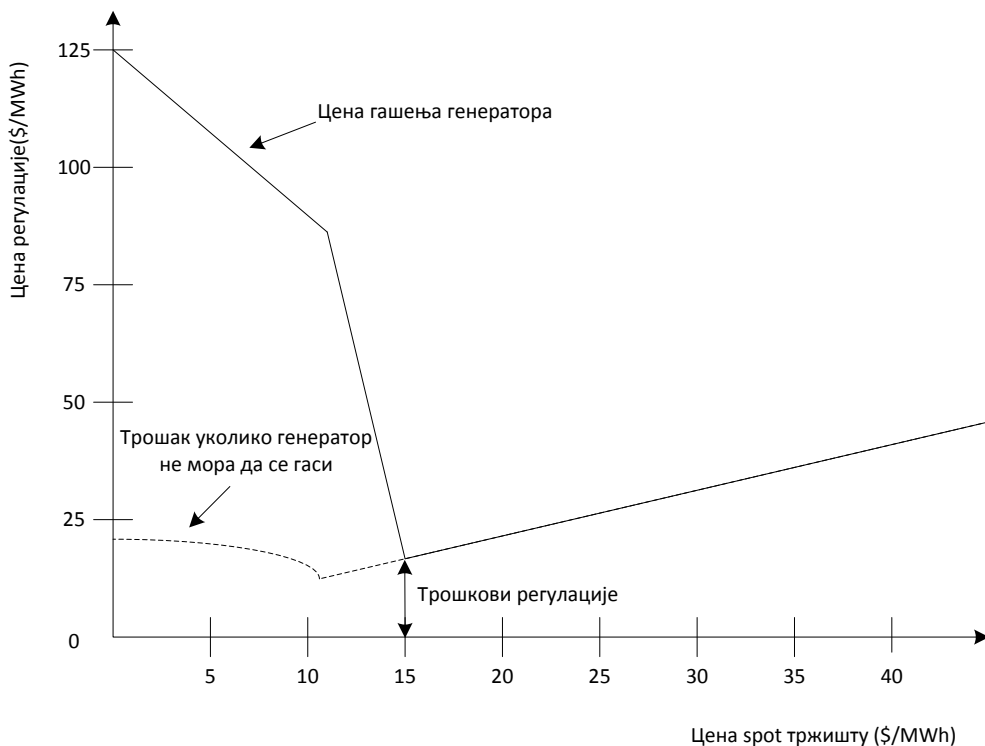
Слика 27. Интеракције различитих актера на балансном тржишту [108]

2.4.4. Цене на балансном тржишту

Већина тржишта помоћних сервиса подржава следеће сервисе: регулацију, спинујуће резерве, неспинујуће резерве и суплементалне резерве. Регулација је најскупљи сервис, затим следе спинујућа резерва, неспинујућа резерва и суплементална резерва. Постоји више фактора који могу утицати на цене ових сервиса. Најбитнији фактор односи се на изгубљени профит који се могао остварити учешћем на тржишту. Овај фактор се зове фактор могућности. Генератор мора наплатити своје сервисе на основу разлике између цене производње и цене електричне енергије на тржишту. Уколико је цена производње $50\text{\$MWh}$ а тржишна цена $60\text{\$MWh}$ онда би цена регулације била $10\text{\$MWh}$. Уколико би цена била већа од $10\text{\$MWh}$, онда би генератор направио већи профит него при учешћу на тржишту. Уколико је профит мањи то би значило да се регулација обавља са губицима. Директна веза цене електричне енергије и цене помоћних сервиса указује на чињеницу да су цене помоћних сервиса нестабилне.

Цена регулације као сервиса има додатне факторе који улазе у рачунање цене. Битни фактори који учествују у формирању цене су деградација емитовања топлоте и хабање генератора због неоптималног начина рада. Ови фактори су ипак од мањег значаја него фактори могућности. Уколико би цена производње енергије била $15\text{\$MWh}$ а тржишна цена $30\text{\$MWh}$, онда би цена регулације била око $27\text{\$MWh}$. Ова цена већа је од цене

производње којом би се само покрили трошкови учешћа на тржишту. На слици 28 може се видети однос цене регулације и тржишне цене за генератор који нуди 12MW регулације (2% капацитета). Пошто је регулација сервис велике брзине и генератор има ограничење по питању убрзања и успорења, овај сервис се дистрибуира на већи број генератора.

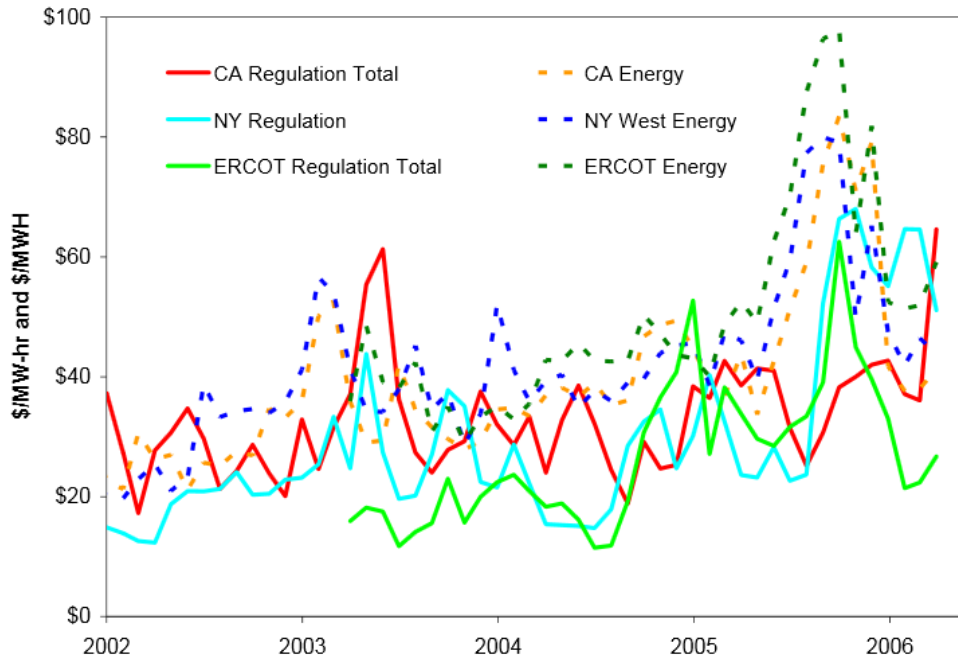


Слика 28. Цена регулације у односу на тржишну цену и друге факторе [4]

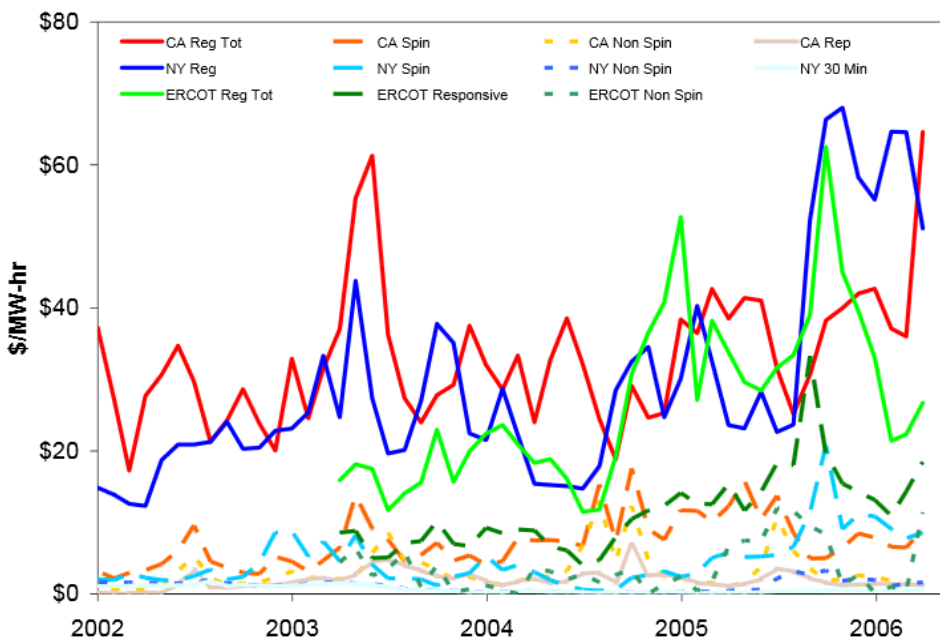
Посебна нестабилност цене може се приметити када је тржишна цена нижа од цене производње енергије, па се регулација мора додатно надокнадити. Још већа нестабилност настаје уколико се од генератора захтева да смањи производњу испод минималне прописане. Ово смањење доводи до тоталног искључења генератора из рада и мора бити надокнађено. Овакве ситуације се најчешће дешавају ноћу.

Претпоставимо да генератор има минималну прописану производњу од 150MW и да је тренутно искључен. Од овога генератора се захтева 15MWh регулације на горе. Како би понудио регулацију он мора повећати производњу на 165MW, од којих ће 150 морати да прода на тржишту електричне енергије. Пошто је тржишна цена током вечерњих часова знатно нижа од цене производње електричне енергије, регулација се мора додатно надокнадити.

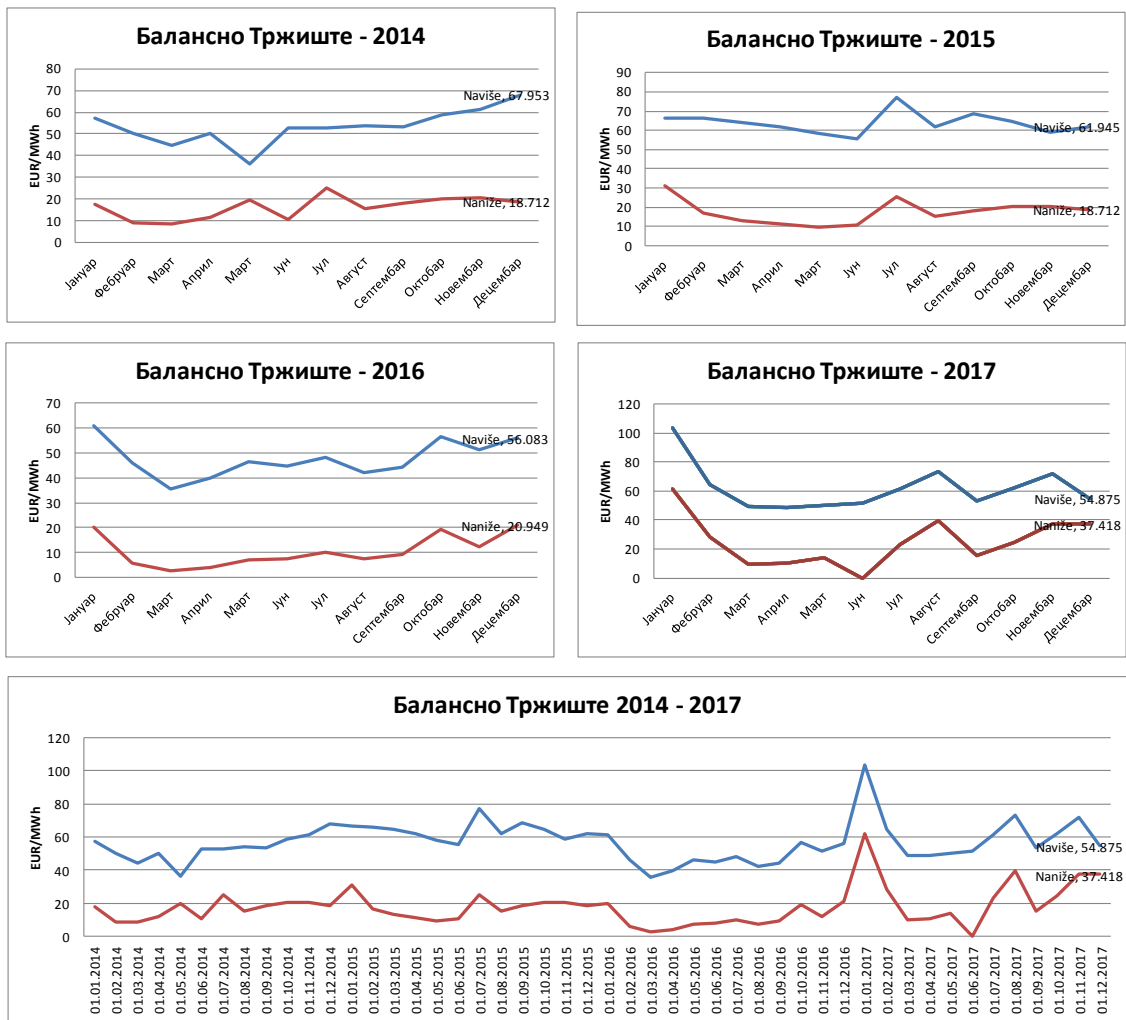
Цене енергије у односу на цене регулације на америчким тржиштима могу се видети на слици 29. Може се приметити правилност да је цена регулације често нижа него цена електричне енергије. Такође се уочава велика нестабилност у цени електричне енергије и у цени сервиса. На слици 30 могу се видети цене помоћних сервиса на америчким тржиштима.



Слика 29. Цене регулације на америчким тржиштима [4]



Слика 30. Цене помоћних сервиса на америчким тржиштима [4]



Слика 31. Пондерисане цене помоћних сервиса на Балансном тржишту Републике Србије [109]

Цене помоћних сервиса на српском тржишту балансне енергије показују слично понашање као и оне на америчким тржиштима, иако им је цена нестабилна током године, не показују висок ниво нестабилности као америчка тржишта (слика 31). Међутим, може се приметити тренд на српском тржишту, како са развојем тржишта и протоком времена постаје све нестабилније и све сличније америчким. Због овога се са одређеном дозом сигурности може прихватити чињеница да ће у будућности српско тржиште имати све више карактеристике америчког тржишта и да се резултати истраживања над америчким тржиштима и ценама могу применити на српско тржиште у развоју.

2.5. Берзе електричне енергије

Берза се може описати као место на коме се продаје физичка и финансијска роба. Берза представља правно лице које обједињује купце и продавце, где је примарна функција усклађивање понуде и потражње тако да се продаја обави по највишој могућој цени са становишта продавца, и најнижој могућој цени са становишта купца. Упоредо са усклађивањем понуда, берза извршава активности које укључују балансирање профита и губитака, дневних прорачуна колатералних захтева и коначно физичко и финансијско поравнање. Релевантне берзе са становишта електричне енергије су *spot* берзе и *futures* берзе. На *spot* берзама се тргује по *spot* ценама које се активирају у тренутку упаривања, а које је обично у реалном времену. *Spot* берзе које се користе у енергетској индустрији су типа „дан-унапред“ (енг. *day-ahead*), и служе као један од алата којима оператор мреже може осигурати довољан производни капацитет за следећи дан. Функционишу по принципу да заинтересована страна мора доставити дан унапред следеће информације: сате у којима би се трговина обавила, количину енергије, и цену по којој би се енергија продала или купила. Тренутно на територији Републике Србије постоји *spot* берза SEEPX а.д. Београд, која организује „дан-унапред“ аукције.

Други тип берзе који је релевантан за енергетску индустрију је *futures* берза, на којој се тргује правом на куповину или продају одређене количине енергије у једном тренутку у будућности, обично на месечном, кварталном или годишњем нивоу. Овај тип берзе има сличне функције као *spot* берза, али цена није одређена на лицу места већ постоје флукуације између периода куповине и датума активације понуде. Овај тип берзе обично служи као алат за контролу ризика од стране произвођача, чиме се постиже заштита од наглог пада цене електричне енергије у будућности. Купци у малопродаји и предузећа која се баве дистрибуцијом имају потребу да се заштите од наглог раста цена, и то могу постићи преко *futures* берзе. Тренутно на територији Републике Србије не постоји берза овог типа.

2.6. Demand-response

Demand-response се дефинише као врста одговора на повећану потражњу, промену цене електричне енергије или ако је, из било ког разлога, угрожена стабилност система, тако што се смањује потрошња корисника у односу на њихову очекивану потрошњу. Смањење потрошње се врши у кратким периодима, где корисник прекида са коришћењем одређених уређаја, или помера њихово коришћење на други временски рок. Алтернатива

искључењу може бити активација „кућне електране“ или кућног агрегата који у тим периодима напаја домаћинство. Да би корисник могао да учествује у *demand-response* системима, потребно је да од трећег лица прими сигнал у облику промене цене или у облику захтева за *demand-response*.

Demand-response као технологија има потенцијал да смањи цену електричне енергије и да одржава стабилност система. Може се користити уместо активације генератора за смањење непланираног преоптерећења мреже. Такође, постоји и додатни еколошки разлог за коришћење *demand-response*, који произлази из смањења потрошње током вршних сати, јер није потребно ангажовање скувих или електрана које загађују околину.

Demand-response се као механизам регулације може користити на малопродајним и на великопродајним тржиштима. Тржишно пословање се остварује преко смањења потрошње током трајања одређених тржишних услова и на одређено време. Да би се *demand-response* применио на нивоу домаћинства, потребно је дефинисати базну потрошњу домаћинства и у односу на њу мерити смањење.

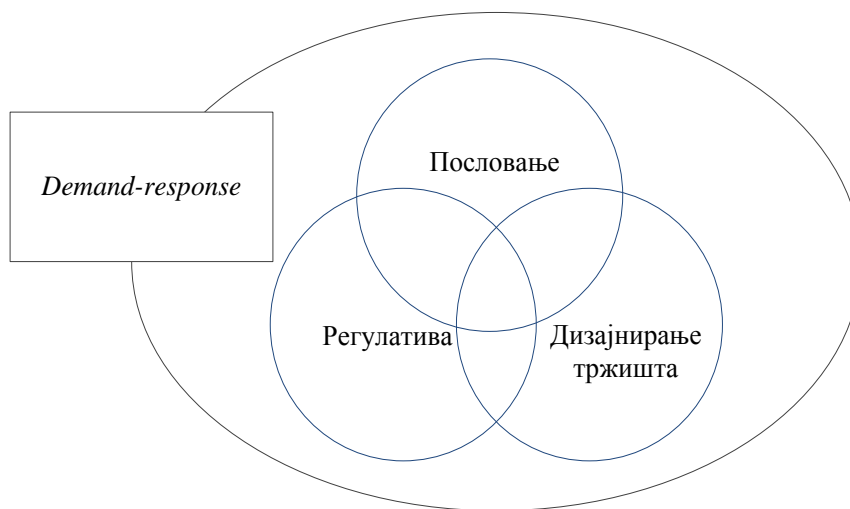
Постоје три модела *demand-response*-а од значаја за тржиште: смањење, премештање и корисничка производња. Код смањења, корисник смањује своју потрошњу, без планова да је одложи на други временски рок. Премештање подразумева смањење потрошње тако што се она одлаже за неки други временски интервал. На пример, потрошња која се дешава у вршним периодима може се преместити на периоде који немају велику потрошњу, као што су рани јутарњи сати. Трећи модел, корисничка производња, подразумева постојање агрегата или генератора који ефективно могу уклонити сву потрошњу корисника, са становишта оптерећења мреже.

Главна подела са становишта тржишта и функционалности *demand-response* система је подела на основу могућности управљања. *Demand-response* системи могу бити управљиви (енг. *dispatchable*) и неуправљиви (енг. *nondispatchable*). Управљиви системи са сигурношћу одговарају на сигнал за смањење потрошње. Овај вид *demand-response* се користи претежно да би се осигурала стабилност система. Управљиви системи се такође могу посматрати и често се у литератури називају директно управљање потрошњом [110]. Неуправљиви системи немају способност директне контроле потрошње, већ се ослањају на промену потрошње кроз учешће корисника на тржишту. У овим системима се цена електричне енергије доставља корисницима у реалном времену. Корисници на основу цене доносе одлуке о учешћу у *demand-response* [111].

Demand-response у малопродаји представља скуп мера штедње које оператор дистрибутивне мреже нуди потрошачима. Државе регулативама утичу на операторе [6] да смање потрошњу корисника у оквиру еколошких иницијатива. Главне две методе које оператори у малопродаји користе су: *Real Time Pricing* (RTP) и *Critical Peak Pricing* (СТР).

На великопродајним тржиштима *demand-response* се претежно односи на одржавање стабилности система и сарадњу са оператором преноса. Корисници на великопродајном тржишту могу учествовати као волонтери у одржавању стабилности система, или као капацитетни ентитети плаћени за своју расположивост у случајевима контингенција. Капацитетни ентитети, који нису одговорили на захтев, пенализују се. Трећи приступ је учествовање на *day-ahead* тржиштима у својству виртуелних генератора [112][113][114]. Подаци који представљају основ за учешће на *day-ahead* тржишту су: расположивост по сатима, количина MW и продајна цена.

Појединачна домаћинства или зграде ретко учествују на великопродајним тржиштима, већ се тиме претежно баве агрегатори. Овај тип агрегатора се зове *curtailment service provider* (CSP). CSP групише мале кориснике у ентитете који учествују на великопродајним тржиштима. Модел пословања CSP-а чине три целине: тржишни услови, регулациони оквир и пословни модел CSP-а (слика 32).



Слика 32. *Demand-response* пословне целине

Demand-response корисници се могу посматрати као систем дистрибуираних виртуелних електрана који производе енергију сопственим генераторима или смањењем потрошње. Кориснички уређаји напредком технологије постају све интелигентнији и могу

аутоматски одговарати на *demand-response* сигнале [115][116]. Претходно је потребно обезбедити дозволу корисника за активирање сервиса.

У основном облику *demand-response* представља одговор на нагли скок у цени електричне енергије, при чему се кориснику нуде три могућности [117][118]:

1. Дозволити гашење уређаја, и одложити његово поновно укључење.
2. Уређај оставити укљученим, али активирати штедљиви режим рада.
3. Одбити захтев и наставити са регуларним коришћењем уређаја.

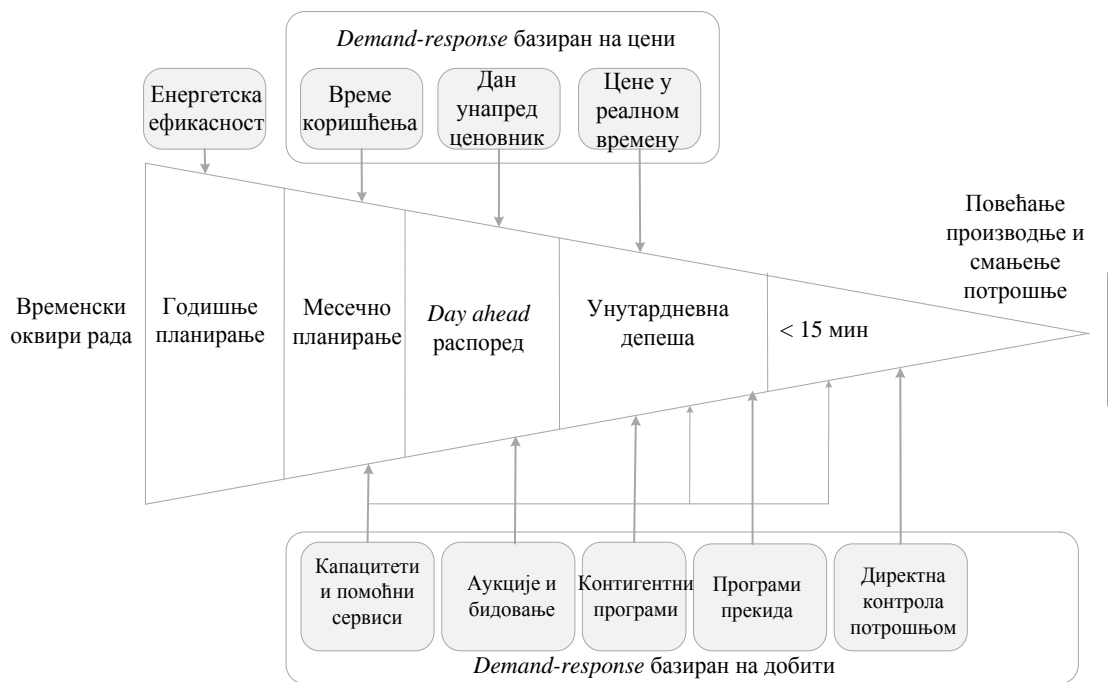
Demand-response се као сервис може понудити оператору у три облика [118]:

1. Учешће на тржишту електричне енергије.
2. Помоћни сервис регулације фреквенције.
3. Помоћни сервис спинујуће резерве.

Сваки од уређаја има подршку за сервисе у којима учествује. Неки од уређаја несметано могу функционисати при учешћу у кратким сервисима док су неки погоднији за дуже сервисе или учешће на сатном тржишту електричне енергије. На пример, искључење грејача на машини за сушење веша у трајању од пет минута неће негативно утицати на корисника нити на уређај и огледаће се само у мало дужем циклусу сушења веша, али количина активне снаге која се предаје систему у том тренутку није занемарљива и може износити до 4kW. Насупрот овом примеру, могу се појавити и сигнали који захтевају дуже гашење уређаја. Оваква гашења имају негативан утицај на задовољство корисника и морају бити строго планирана и прихваћена од стране корисника. На пример, многи модерни фрижидери могу функционисати у више режима рада, па су погодни за овакве сервисе. Кратко гашење фрижидера или премештање *defrost* циклуса неке су од могућности за остварење разумне уштеде.

Лоша страна *demand-response*-а је чињеница да уколико се примењује у редовним временским интервалима може негативно утицати на уређај и довести до мањих оштећења због великог броја гашења и паљења. Како би се смањило хабање уређаја потребно је користити *demand-response* у разумним мерама и на уређајима који могу да поднесу такав режим рада.

На слици 33 може се видети подела *demand-response* сервиса на две категорије: *demand-response* заснован на променама цене и *demand-response* заснован на директном учешћу потрошача. На слици су ове категорије додатно разложене на појединачне сервисе који су придружени временским слотовима и роковима у којима могу одговорити на захтев.



Слика 33. Demand-response по категоријама и респонзивности [6]

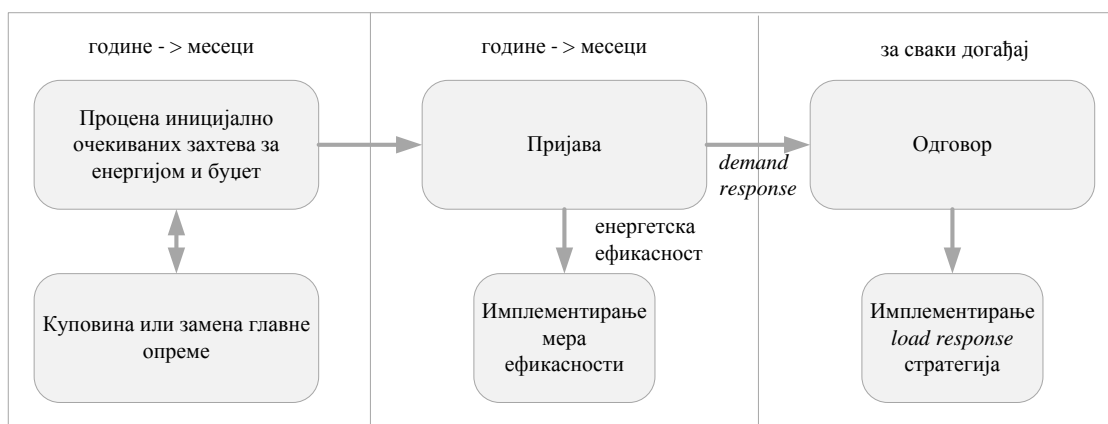
У традиционалним електроенергетским мрежама за потребе регулације увек се ангажују генератори чији је рад детерминистички и контролабилан и који су способни да одговоре на регулационе сигнале у року од неколико секунди. Међутим, повећањем удела обновљивих извора енергије ова контролабилност и детерминизам постају све мање изражени [119][120]. На пример, америчка држава Калифорнија има електроенергетску мрежу водећу у свету по питању коришћења обновљивих ресурса. По *Renewable Potrfolio Standard*-у прописане су очекиване количине обновљивих извора за сваку од земаља. За Калифорнију се очекује да до 2020. године удео обновљиве енергије подигне на 33%, што повлачи додатну потребу регулационог капацитета за који се процењује да мора бити повећан за 4600MW[121].

Како би се осигурао додатни регулациони капацитет потребно је конструисати нове генераторе који нису обновљивог типа. Као алтернатива конструкцији нових генератора појављује се могућност контроле потрошње корисничких уређаја. Главна препрека за масовно увођење овог типа регулације је чињеница да већина уређаја није способна да одговори на сигнал у року од неколико секунди а да тиме не омета своју примарну функцију. Додатна потешкоћа за увођење овог типа регулације је та што захтева развијену комуникациону мрежу која може да подржи двосмерну комуникацију.

Спинујућа резерва мора бити активирана у интервалу између 10 и 60 минута, где потреба за временом активирања све више тежи ка десет минута. Овај тип резерви се активира

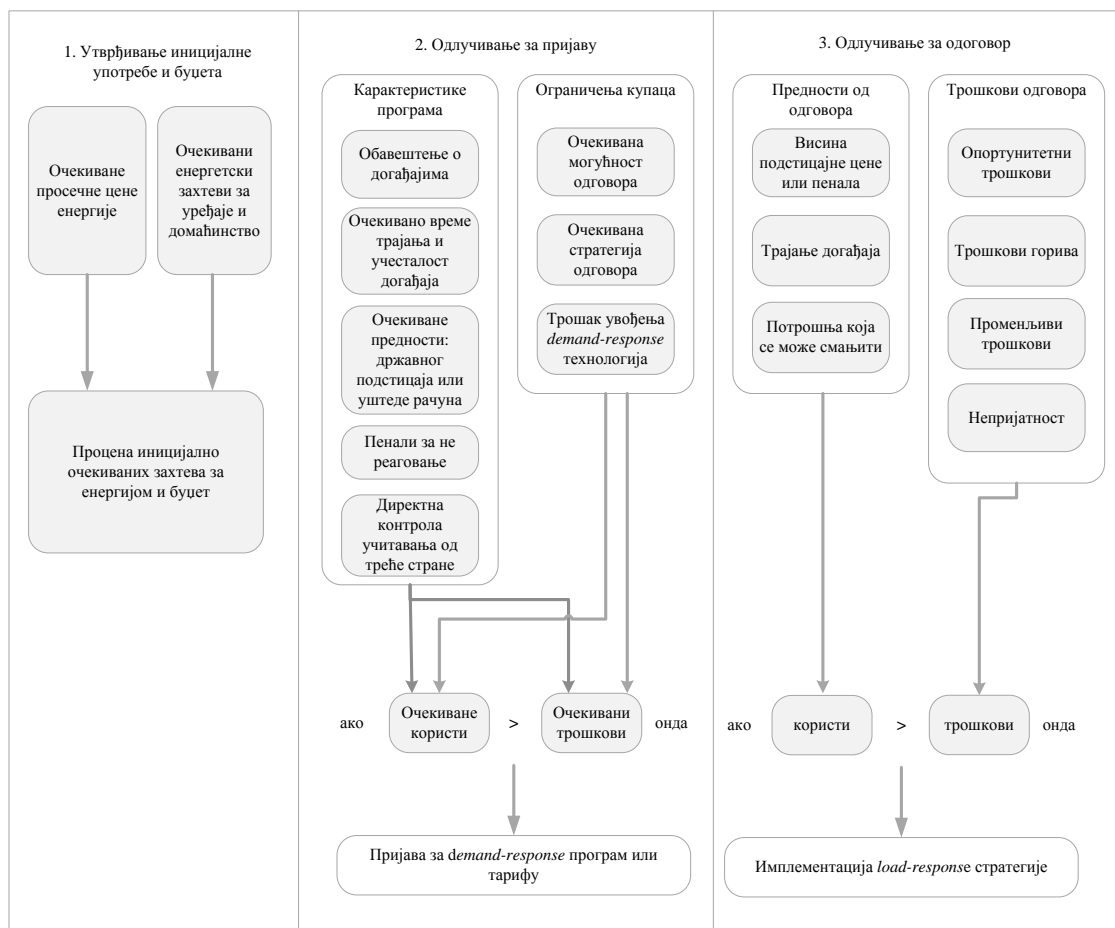
искључиво при контингентним условима. Свака електроенергетска мрежа мора осигурати довољну количину спинујуће резерве да би се покрио могући отказ једног или више најјачих генератора. Зависно од величине мреже и типа електрана које су у њој присутне, ова резерва се може мерити у стотинама или хиљадама мегавата. У традиционалним системима ове сервисе нуде генератори који су у функцији, а овим сервисима се може бавити било који уређај који је повезан на мрежу. Уређај који жели да учествује у овом сервису мора бити спреман да одложи своју потрошњу у року од десет минута. Уређаји који су најпогоднији за овај тип сервиса су машине за сушење веша, бојлери и фрижидери чије гашење на ове периоде није од великог утицаја. Главна предност у коришћењу уређаја за сервисе спинујуће резерве је смањење потрошње фосилних горива. Класични термогенератор који се користи за потребе ових сервиса континуално троши ресурсе док производи занемарљиве количине енергије чекајући сигнал за активацију резерве како би у кратком року предао енергију систему.

Основни ток пословања *demand-response*-а приказан је на слици 34, где се могу видети одлуке корисника *demand-response*-а. Први корак подразумева анализу корисничке тренутне и будуће потрошње електричне енергије. Овај корак поставља основ за ефикасну имплементацију будућих корака и потенцијалних унапређења корисничких уређаја са ефикаснијим. Уколико фаза анализе укаже да се може остварити одређена корист од примене *demand-response* технологије, корисник ступа у уговорну обавезу и прихвата учешће на сервисима, где има два избора, да ли жели да учествује преко тарифних програма или преко директног смањења потрошње. Тарифни програми обично подразумевају ефикасније коришћење енергије, посебно у вршним периодима, док директно смањење потрошње подразумева тренутно смањење потрошње на основу примљеног сигнала.



Слика 34. Дијаграм тока пословања при имплементацији *demand-response*-а [122]

Детаљнији ток пословања за корисника *demand-response* програма може се видети на слици 35. При детаљнијој анализи тока пословања, можемо приметити да се кориснику увек нуди избор, у томе да ли жели учествовати у програму, и на који начин [123]. Главни разлози за учествовање у неком од програма, било тарифних или директних, могу се утврдити анализом два фактора, и њиховим односом [124]. Ова два фактора су очекивана корист, и очекивани трошак. На основу њихових вредности и односа, корисник може на основу својих индивидуалних преференција одлучити да ли жели да учествује или не. Дијаграм тока који је представљен на слици 35 не узима у обзир почетну иницијативу корисника као и њихове социјално одговорне афинитете. Ова два фактора поред опипљиве користи и трошка могу бити знатан фактор при одлучивању, међутим, није их лако одредити и квантификовати.



Слика 35. Детаљан дијаграм тока пословања при имплементацији *demand-response-a* [122]

Анализа корисничког понашања, применом *demand-response* технологија, могућа је преко детаљне анализе индивидуалних користи и трошкова за сваку од одлука о учешћу у *demand-response*. Трошак се увек може придружити кључним учесницима у систему. У случају учешћа у *demand-response*-а оператора система и индивидуалног корисника, трошак је могуће даље рашчланити и сваки елемент придружити носиоцима. Декомпозиција трошка се може видети у табели 5.

Трошак се природно може поделити на две категорије: иницијални и оперативни трошак. Иницијални трошкови настају и пре учествовања у *demand-response* сервисима и обично подразумевају трошкове везане за испуњавање предуслова за учешће. Пре било ког већег трошка, потребно је утврдити елементе стратегије учествовања у *demand-response*, везане за изворе трошкова и формални поступак којим се, на основу интерних и екстерних системских варијабли, овај трошак квантификује, као и на начин на који тај трошак утиче на стратешке циљеве пословања. Преко ове стратегије одређује се и анализира технолошки трошак, под којим се обично подразумева увођење паметних уређаја. Паметни уређаји од значаја за *demand-response* технологије могу бити: паметни термостати, микроконтролери који утичу на потрошњу и тиме одговарају на вршне периоде, а у случају предузећа, интегрисани систем који омогућава несметани рад предузећа при функционисању *demand-response* програма. Поред технолошких, постоје и трошкови едукације корисника, који су од кључног значаја за коришћење нових технологија, где се често наилази на отпор.

Оперативне трошкове сnose корисници при њиховој реакцији на високе цене или директног захтева за смањење потрошње. Постоје потешкоће у мерењу ових трошкова, јер често зависе од конкретне ситуације, и различити су, зависно од типа корисника. Оперативни трошкови са операторске стране подразумевају трошак дневног рада *demand-response* система.

Табела 5. Трошкови *demand-response*-а [122]

Тип трошка		Трошак	Носилац трошка
Трошак учесника.	Иницијални трошак.	Трошак увођења нових технологија.	Учесник сноси трошак. Могуће је умањење ових трошкова преко субвенционисања од стране државе или оператора.
		Успостављање плана за активације ресурса.	Учесник сноси трошак. Могуће га је умањити при помоћи оператора за успостављање ефикасног плана.
	Трошак по догађају.	Трошак комфора.	Учесник сноси трошак због изгубљене „могућности“ коришћења енергије.
		Потенцијални губитак пословања.	
		Трошак поновног укључења.	
Трошак горива за локални агрегат, и трошкови одржавања.			
Трошак оператора система.	Иницијални трошак.	Трошкови паметних бројила и напредне комуникационе инфраструктуре.	Ови трошкови могу бити ниски или екстремно високи, зависно од тренутног стања мреже као и планираног опсега <i>demand-response</i> пројекта.
		Опрема, софтверска подршка, напредни системи за наплату рачуна.	Општа пракса је да оператор система ове трошкове пренесе на месечне рачуне корисника.
		Обука корисника.	Могуће је финансирати преко државних субвенција.
	Оперативни трошкови.	Администрација <i>demand-response</i> програма.	Трошак сноси оператор, и кроз месечне рачуне корисника их надокнађује.
		Маркетинг и нова запослења.	
		Исплата учествујућим корисницима <i>demand-response</i> програма.	
		Евалуација програма.	
		Надгледање и комуникациони токови.	

Поред трошкова, значајан фактор при свакој *demand-response* одлуци представља корист, која може бити директна и индиректна. Поред ове две категорије постоје и користи које није лако квантификовати ни монетизовати, и из тог разлога их није могуће сврстати у ове две категорије. Детаљан преглед користи које могу бити остварене преко *demand-response* програма могу се видети у табели 6.

Корист која се добија учествовањем у *demand-response* можемо посматрати и кроз два различита аспекта: финансијски аспект и аспект поузданости. Финансијски аспект је обично директан и представља уштеду која је остварена при директном коришћењу *demand-response* програма. Аспект поузданости за просечног корисника представља смањење ризика од неочекиваног нестанка струје. Ова предност се може лако монетизовати као зарада која је остварена због доступности електричне енергије као и социјалне одговорности коју корисник има због спречавања ланчаног нестанка струје. Индиректну корист имају и могу да осете сви корисници, као и комплетан систем. Овај тип користи представља главни покретач оператора мреже за увођење и одржавање *demand-response* система. Краткотрајна индиректна корист се може утврдити преко промена на самом тржишту електричне енергије. Главна краткотрајна корист се огледа у смањењу укупне потрошње, због које је могућа боља употреба постојеће инфраструктуре, уз смањење инвестиција. Ефекат овог смањења могуће је даље увећати и максимизовати преко односа маргиналне цене електричне енергије на тржишту и предности које корисници остварују.

Дуготрајна корист од конзистентне примене *demand-response*-а је у смањењу вршне потражње. То резултује мањом потребом за изградњом нових генератора као и капацитета преносног и дистрибуционог система. Ова корист је од изузетног значаја због чињенице да енергетски сектор сам по себи има веома високе инвестиционе трошкове и било које смањење у захтеваном капацитету доноси значајне уштеде. Међутим, да би се *demand-response* посматрао као капацитетни ресурс, потребно је да задовољава већи број додатних критеријума који се односе на генераторе, претежно око саме доступности ресурса. Користи дуготрајне поузданости се такође ослањају на конзистентност рада *demand-response* сервиса, где се *demand-response* ресурси користе за потребе резерви у случајевима контингенције и као један од начина да се избегне каскадно гашење мреже.

Поред директних и индиректних користи *demand-response*-а, постоје и друге користи које није лако квантификовати, јер се оне претежно односе на квалитет рада самог тржишта, као и на понашање других учесника на тржишту. Ефикасном употребом *demand-response* је могуће знатно умањити тржишну моћ вршне производње и одређених произвођача који

могу намерном и планираном неактивношћу својих ресурса повећати цену електричне енергије. Решавањем проблема тржишне моћи, могуће је смањити, ако не и тотално елиминисати, тржишне аномалије где цена електричне енергије може имати висок експоненцијалан раст у односу на малу пораст у потражњи.

Табела 6. Користи *demand-response*-а [122]

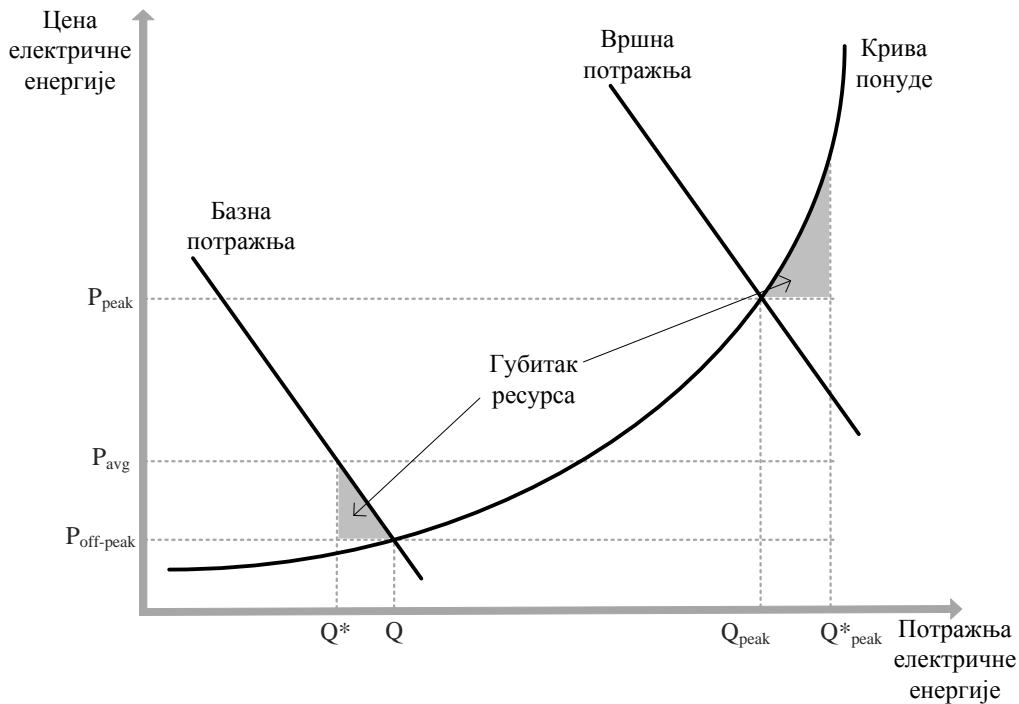
Тип користи	Носилац	Корист		Опис
Директна корист.	Корисници.	Финансијска корист.		Мањи рачуни за струју.
		Поузданост.		Мањи број нестанака струје. Друштвена одговорност.
Индиректна корист.	Корисници.	Корист за тржиште.	Краткотрајни.	Смањење маргиналне цене током одређених догађаја. Смањење захтева за уговоре краткотрајног капацитета.
			Дуготрајни.	Смањење трошкова за капацитете. Смањење трошкова преноса и дистрибуције. Мање тржишних интервенција.
		Поузданост.		Мањи број нестанака струје. Диверсификација ресурса за одржавање стабилности система.
Друге користи.	Корисници и оператори.	Индиректна унапређења тржишта.		Коришћењем тржишта за нове иновације доводи до веће конкуренције и самим тим квалитета тржишта.
		Перформансе тржишта.		Еластичност потражње смањује потенцијалну тржишну моћ генератора.
		Друштвена одговорност.		Смањење загађења због мањег коришћења вршних генератора. Већи пробој зелених технологија.
		Енергетска независност.		Коришћењем локалних ресурса, смањује се потреба за увозом енергије.

Поред користи за само тржиште, постоји и корист по животну околину, која се може постићи смањењем вршне потрошње, која се традиционално и по правилу задовољавала ангажовањем електрана које обично представљају највеће загађиваче. Међутим, веома је тешко мерити ову корист по околину, јер зависи од типа генератора, географске локације и разних других варијабли. Постоји и друга врста користи по животну средину која је лако мерљива, а то је корист која се остварује преко учествовања на балансном тржишту, где се повећањем респонзивности помоћних сервиса, помаже већем обиму коришћења обновљивих извора енергије.

Утицај *demand-response*-а на тржишта електричне енергије може бити знатан, и инвестиције у ову технологију су са економског становишта оправдане [125]. При процени потенцијалне користи примене нових технологија са економског становишта, потребно је ослонити се и на мерење друштвене користи. У економији је могуће све тржишне трансакције сврстати у две категорије, друштвено корисне трансакције од којих сви имају корист и трансфере где се врши пренос добити са једног учесника на другог. Због потешкоћа и у неким случајевима немогућности мерења индивидуалне користи на великим тржиштима, економисти се ослањају на сумарну анализу преко друштвене користи.

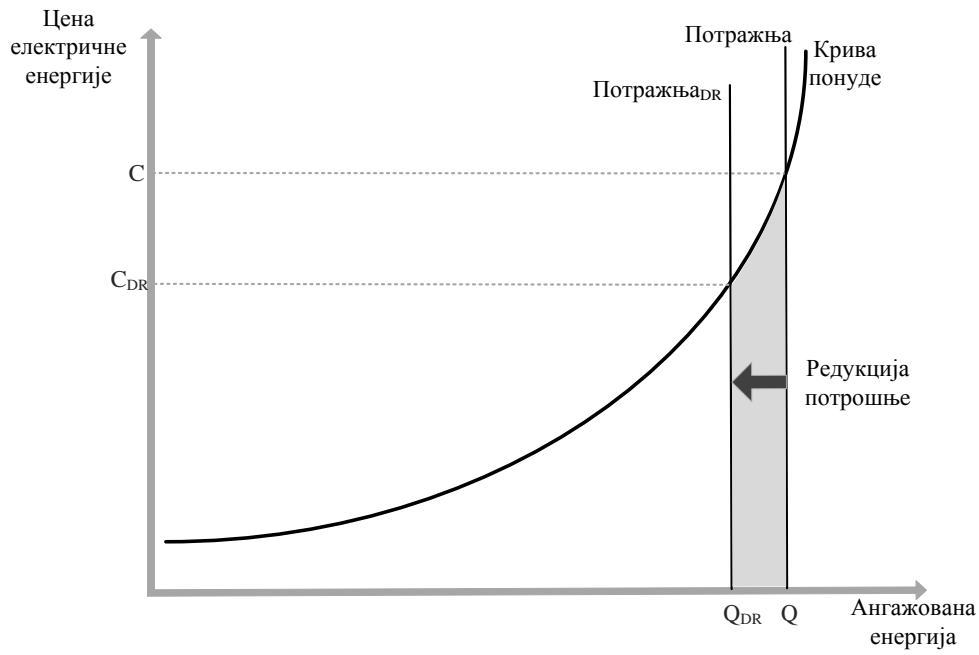
Активност *demand-response*-а се може окарактерисати као друштвено корисна по томе што ефикасније користи ресурсе и смањује јаз између тржишне маргиналне цене електричне енергије и просечне цене електричне енергије коју плаћају крајњи корисници. При тржишним условима, ова корист се може посматрати као површина ограничена двама кривама: кривом производње и кривом потражње. Пресек ове две криве и површина која је захваћена може се видети на слици 36. На тржиштима електричне енергије крива производње се конструише тако што се редом укључују генератори по мерит листи, где се маргинална цена и вредност те криве у том моменту одређују као цена укључења последњег потребног генератора. Овакво конструисање цене као резултат има нагли раст цена при вишим вредностима, као и чињеницу да маргинална цена енергије постаје све осетљивија на промене у потражњи, уколико је потражња већ висока. Маргинална крива вредности потражње показује другачије понашање, додатна потражња опада, при укупном повећању потражње. Уколико је цена електричне енергије фиксна, потражња се може представити као права линија, то јест не постоји еластичност у потражњи. Најефикаснија употреба електричне енергије се јавља при пресецању криве потражње и производње, где је цена електричне енергије $P_{\text{off-peak}}$ и P_{peak} , где $P_{\text{off-peak}}$ представља оптималну не-вршну цену а P_{peak} представља оптималну вршну цену. При овим ценама, у идеалним случајевима количина електричне енергије која је захтевана не

би прелазила Q и Q_{peak} . Због чињенице да већина корисника плаћа фиксну цену електричне енергије, која се може апроксимовати са P_{avg} , сама потражња губи еластичност, и због тога се јавља потрошња од Q^* и Q_{peak}^* , које представљају пресек криве потражње са P_{avg} .



Слика 36. Пресек крива производње и потражње [122]

Зависно од окружења у коме је имплементиран *demand-response* програм, могу се сагледати другачији економски бенефити. У вертикално интегрисаним окружењима корист *demand-response* програма огледа се у померању очекиване потрошње Q на Q_{DR} . Овим смањењем се смањује и операторов трошак, због чињенице да се не морају ангажовати додатни генератори. Уштеда коју оператор остварује може се видети на слици 37, као осенчена површина између Q и Q_{DR} . На слици 38 се може видети детаљнија анализа користи *demand-response* сервиса за вертикално интегрисано окружење, где се смањења просечне цене енергије као и потреба за изградњом нових електрана директно преносе на смањења рачуна електричне енергије потрошача.

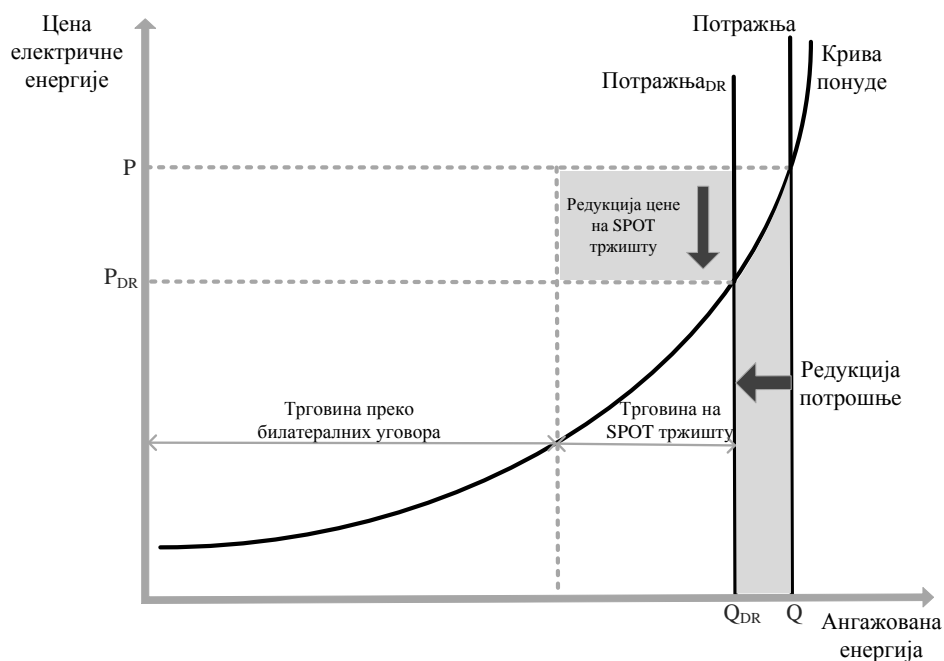


Слика 37. Уштеда у вертикално интегрисаном окружењу [122]



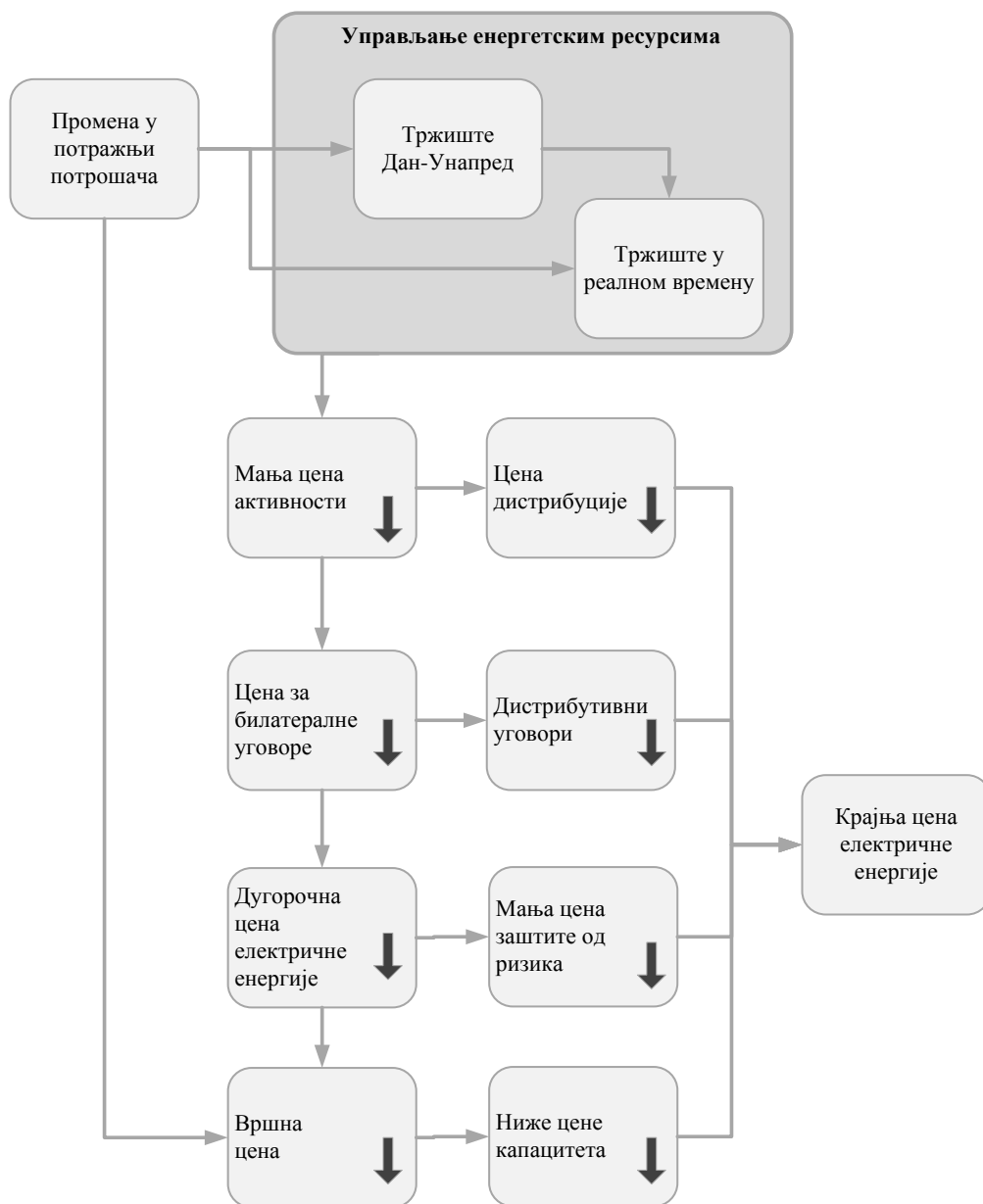
Слика 38. Корист *demand-response*-а у вертикално интегрисаним окружењима [122]

Уколико *demand-response* функционише у тржишном окружењу, корист од *demand-response* програма је знатно већа [126]. Због конкуренције сваки генератор на тржишту поставља цену која узима у обзир операционе, капиталне и трошкове одржавања. Док дистрибуције и други учесници на тржишту постављају своје очекиване потражње. Тржишна клиринг цена се поставља преко маргиналне цене задовољења свих потражњи. Због маргиналне цене електричне енергије, смањење потражње може не само утицати на активације генератора, већ директно смањује цену све енергије која је купљена на тржишту. Ово смањење укупне цене може се видети као осенчена површина на графикону 39, која се налази између цена P и P_{DR} . Због чињенице да *demand-response* утиче само на цене тренутне потражње, могуће је утицати само на цене на SPOT тржишту, јер трансакције за базну потрошњу бивају обезбеђене преко билатералних уговора по фиксним ценама. Другим речима, могућа уштеда је зависна од количине енергије којом се тргује на SPOT тржишту.



Слика 39. Уштеде на тржишном окружењу [122]

Уколико је дејство *demand-response* сервиса конзистентно, онда се утицај *demand-response*-а на SPOT тржиште може сагледати преко смањења нестабилности тржишта. Ово смањење у нестабилности има потенцијал да умањи потребу за билатералним уговорима као и њихове цене, због смањења ризика продаје енергије на SPOT тржишту. На овај начин, конзистентно краткотрајно дејство у вршним периодима има потенцијал да промени целокупну топологију тржишта електричне енергије. Ова смањења и њихов утицај на рачуну крајњег потрошача могу се видети на слици 40.



Слика 40. Корист *demand-response*-а у тржишним окружењима [122]

Уколико се *demand-response* посматра са становишта економских трансфера, ниже тржишне цене смањују зараду произвођача док смањују цену коју плаћају потрошачи. При анализи и квантификацији ових трансфера [127] долази се до закључка да тржишна цена као друштвена корист није тачно мерило уколико се посматра стање тржишта на дуже стазе. Тренутна корист од смањења цена може довести до повећања на дуже временске периоде, због капитално интензивне природе енергетског сектора. По тренутном тржишном моделу, периоди експоненцијално високе вршне цене струје помажу и подстичу изградњу нових електрана и оправдавају високе иницијалне трошкове њихове изградње и одржавања. Уколико се ове цене драстично смање, може доћи до

недостатка инвестиција, због којих може доћи до недостатка капацитета у мрежи. Овај недостатак капацитета би као резултат имао повећање цена електричне енергије. Чињеница је да би увођење *demand-response* сервиса у тржишта довело до његове веће ефикасности, међутим сам енергетски систем већ деценијама зависи од вештачке дисторзије цене, и прелазак на ефикаснији модел може довести до нестабилности у фази прилагођавања новом моделу и смањити иницијативу за изградњом нових капацитета.

Како би се даље подстакло концепт *demand-response*-а потребно је раздвојити кориснике који могу и желе да учествују у сервисима од конвенционалних корисника. Најлакши начин на који би се могли подстаћи и наградити корисници за учешће у оваквим сервисима представља формирање одвојеног тржишта на којем корисници могу продавати своје сервисе оператору. При формирању тржишта потребно је установити принцип његовог функционисања. Аукција је једна од адекватних метода функционисања тржишта помоћних сервиса. Једна од честих имплементација је интерно тржиште електричне енергије за једну микромрежу. Аутори из [128] су предложили понуде (енг. *bid*) за смањење потрошње које ће се налазити на тржишту брзе енергије и активирати у периодима вршне потрошње. Свака од понуда за смањење потрошње има своју цену преко које се кориснику надокнађује искључење уређаја.

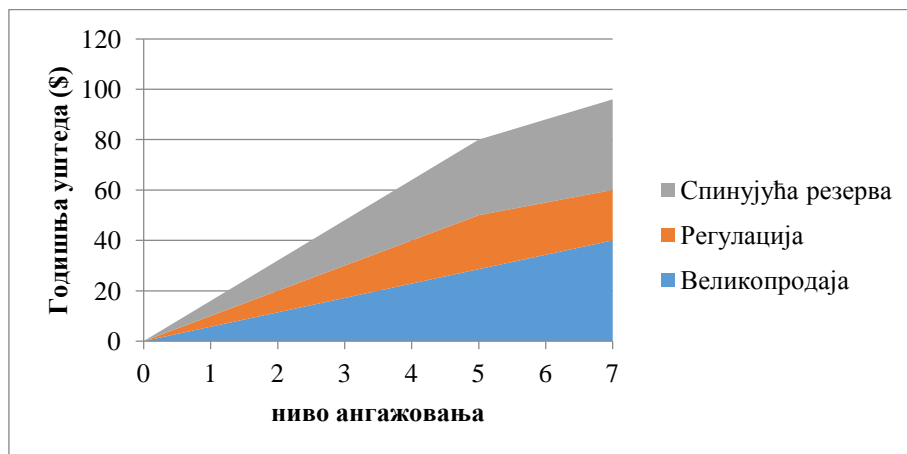
С обзиром на то да се цена формира тржишним методама, постоје проблеми око манипулација цене и проблеми везани за њену нестабилност. Лоша страна искључиво тржишних метода у *demand-response* тржишту је та што остварене бенефиције могу бити мале у односу на количину ангажовања и улагања које корисник мора направити како би се бавио овим делатностима. Због овог разлога потребно је субвенционисати *demand-response* од стране државе и оператора мреже [129]. Овим би се корисници подстакли на веће ангажовање и одржало би се њихово интересовање, посебно у државама у којима домаћинства немају велике приходе.

Просечна потрошња електричне енергије у домаћинству као и цена електричне енергије у САД могу се видети на табели 7.

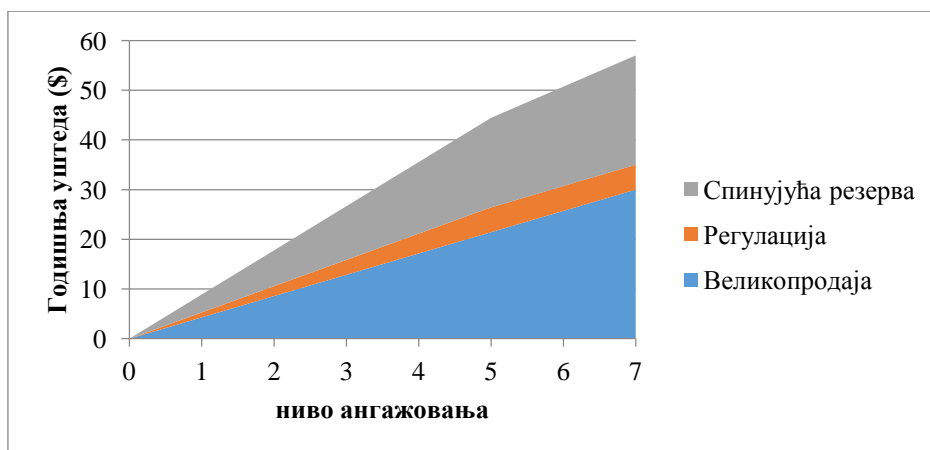
Табела 7. Потрошња електричне енергије за PJM и NYISO регије [118]

	PJM	NYISO
Укупна потрошња у доларима	861.39	1457.33
Просечна потрошена енергија (KWh)	19.499	19.499
Просечна цена електричне енергије	0.443	0.0749

Годишње уштеде које могу бити остварене на NYISO (*New York Independent System Operator*) и PJM тржиштима по сервисима могу се видети на сликама 41 и 42. Ова два тржишта су одабрана за анализу због своје специфичности. NYISO има скупе регулационе сервисе и високу цену електричне енергије, док PJM представља супротност. Независна променљива на графиконима представља жељу корисника да учествује у датим сервисима и отпорност на нарушавање комфора. Са графикона се може закључити да се највећа сума новца може остварити учешћем на сатном тржишту, које уговара померање потрошње у периоду од сат времена. Такође се може приметити да је сума новца, остварена спинујућом резервом и регулацијом, једнака оној која је остварена учешћем на тржишту, што додатно потврђује исплативост учешћа у помоћним сервисима.



Слика 41. Потенцијалне уштеде на NYISO тржишту [118]



Слика 42. Потенцијалне уштеде на PJM [118]

Уштеде које могу бити остварене коришћењем *demand-response*-а током животног циклуса једног уређаја за NYISO и PJM тржишта могу се видети у табелама 8 и 9.

Табела 8. Уштеде по уређајима на PJM тржишту [4]

	Просечан животно циклус (године)	Уштеда (\$)
Машина за сушење веша	14	71.50
Машина за прање веша	12	46.82
Машина за прање судова	12	65.00
Машине за припрему хране	15	9.12
Замрзивач	16	23.36
Клима уређаји и грејни уређаји	14	325.00
Фрижидер	14	20.83
Бојлер	14	226

Табела 9. Уштеде по уређајима на NYISO тржишту [118]

	Просечан животно циклус (године)	Уштеда (\$)
Машина за сушење веша	14	37.62
Машина за прање веша	12	27.88
Машина за прање судова	12	39.61
Машине за припрему хране	15	3.72
Замрзивач	16	13.08
Клима уређаји и грејни уређаји	14	201.07
Фрижидер	14	12.12
Бојлер	14	137.31

3. Развој модела електронског пословања за учешће потрошача на тржишту електричне енергије

3.1. Анализа постојећих модела

Demand-response као начин учешћа на тржишту добија све већи значај. У периоду од 2014. до 2016. године на америчком тржишту електричне енергије остварена је добит од око 3,5 милијарди долара [130] од примене *demand-response-a* са 29GW доступног капацитета. Овај капацитет је примарно коришћен у сврхе смањења вршне потрошње како би се избегао експоненцијални раст цена. Међутим, због специфичности америчке мреже и тржишта, добити овог нивоа нису реалне у другим земљама.

Demand-response се може посматрати као скуп активности у којима учествују различити актери. Ове активности су: идентификација потребе за смањењем потрошње, обавештавање потрошача, смањење потрошње, праћење захтева и повратак на нормалан режим функционисања уређаја.

Модел *demand-response* пословања који је општеприхваћен у пракси заснива се на моделу агрегатора. Агрегатор као улога на тржишту има следеће активности:

1. Регистрација корисника и комуникација са корисницима.
2. Мерење потрошње у реалном времену.
3. Прослеђивање измерених информација.
4. Примена стандарда за мерење и верификацију потрошње.
5. Примена стандарда и протокола за сигурну комуникацију.
6. Прорачун базне потрошње и уштеда.
7. Прорачун учешћа корисника на основу података о базној потрошњи и одређивање адекватне надокнаде корисницима.

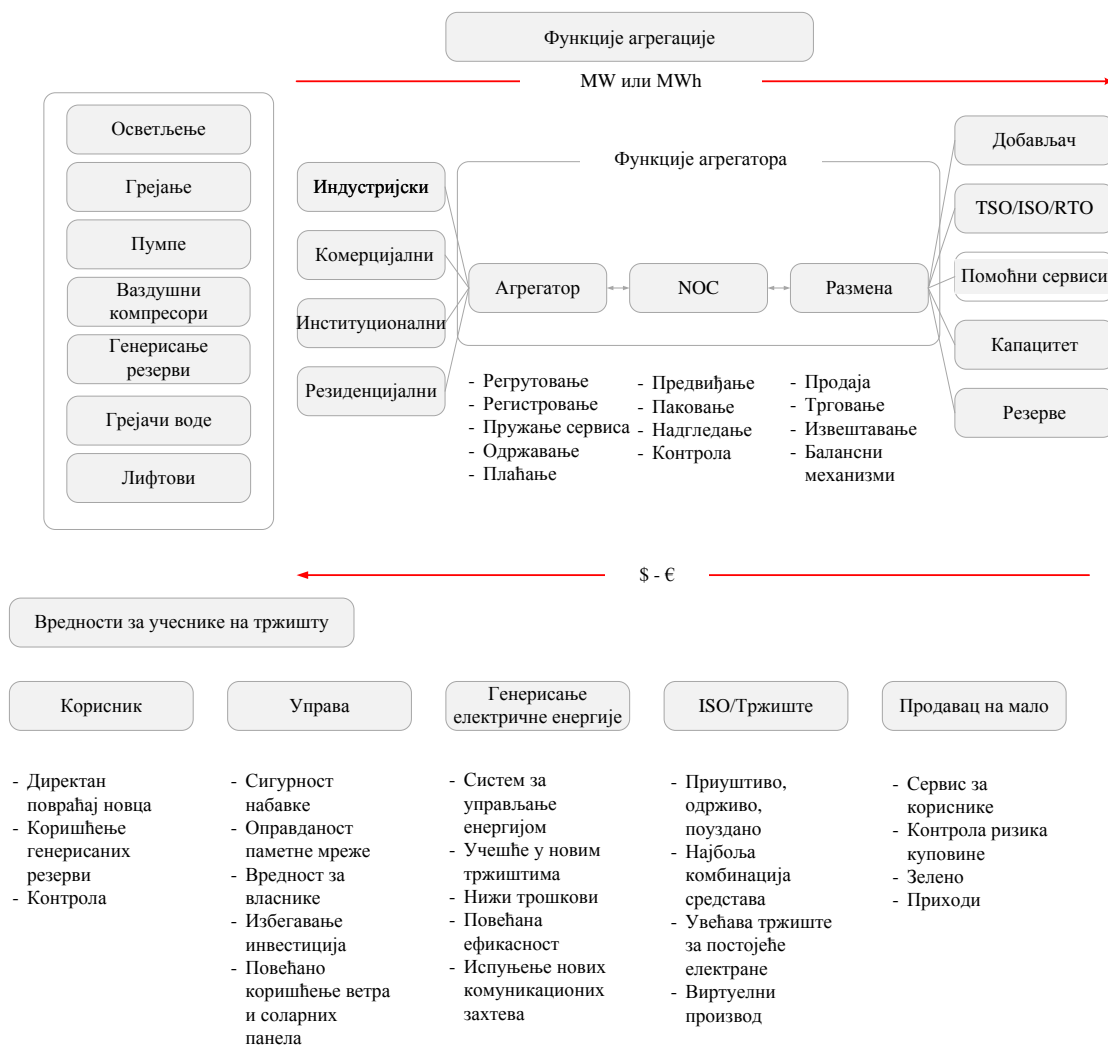
Агрегацијом великог броја корисника постиже се висок ниво поузданости и ефикасности *demand-response* система [131]. Због учешћа великог броја корисника, индивидуалне девијације могу бити нормализоване, па цео систем има предвидљив начин функционисања. У табели 10 се може видети учешће *demand-response* ресурса у америчкој PJM регији, по подрегијама. Уочљиво је да иако постоје девијације на нивоу подрегија, укупне перформансе система и ефикасност су на задовољавајућем нивоу.

Табела 10. Учешће *demand-response* ресурса у PJM регији [131]

Зона	ICAP (MW)	Смањење (MW)	Одступање од оптимума (MW)	Ефикасност (%)	Поновни тест (%)
AECO	43	67	24	155	9
AEP	1094	1674	580	153	0
APS	451	566	115	125	0
ATSI	640	868	228	136	0
BGE	667	1369	702	205	0
COMED	901	976	75	108	61
DAY	126	179	53	142	56
DEOK	244	287	44	118	46
DOM	731	938	207	128	0
DPL	122	149	27	122	2
DUQ	76	195	28	137	0
EKPC	123	132	9	108	0
JCPL	120	159	39	132	39
METED	188	239	50	127	0
PECO	341	408	67	120	7
PENELEC	241	270	29	112	0
PEPCO	184	253	69	138	6
PPL	503	628	124	125	4
PSEG	361	400	39	111	0
RECO	2	3	1	125	0
Укупно	7158	9668	2510	135	12

Главни изазов за агрегаторе је прорачун базне потрошње, јер се на основу ње утврђује реално учешће корисника. Базна потрошња се врши на нивоу домаћинства, зграде, бројила итд. Главни допринос приступа, који се предлаже у овом раду, јесте коришћење базне потрошње на нивоу уређаја, и покушај спуштања целокупног система до конкретног уређаја и његове базне потрошње. Рачуном базне потрошње на нивоу уређаја може се обезбедити модел пословања погодан на тржиштима широм Европе и Америке. У развијенијим тржиштима *demand-response* постаје стандардни ресурс који се може продавати, и еквивалентан је цени произведене електричне енергије. Законски оквири и регулативе су постављени тако да се агрегаторима омогући лако учешће на тржишту. Балансно тржиште и тржишта реалне енергије представљају главна места за учешће

агрегатора који имају блиску сарадњу са операторима система. Модел пословања и вредности за сваког учесника у ланцу приказани су на слици 43.

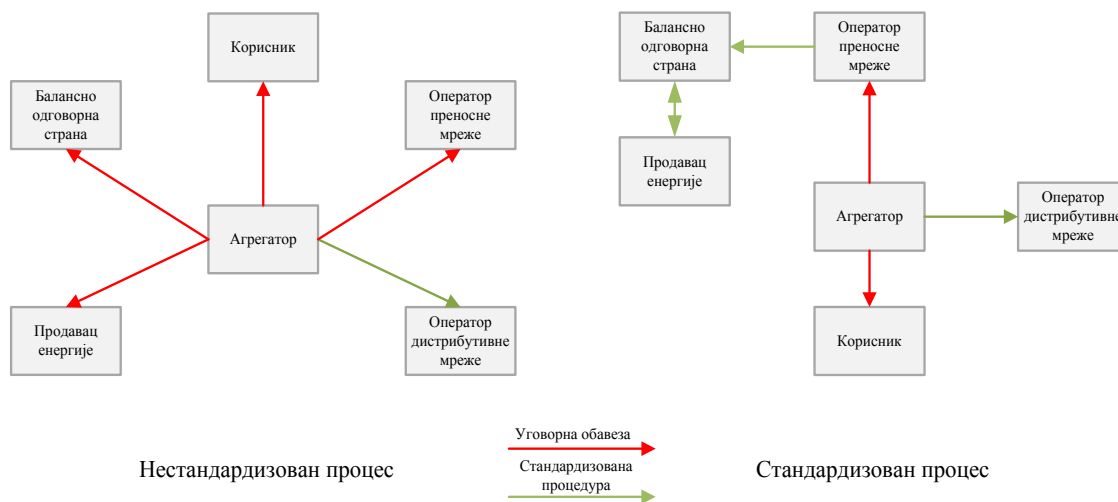


Слика 43. Модел пословања агрегатора [131]

Зависно од регулативе и иницијативе државе могуће је реализовати другачије пословне моделе за агрегаторе *demand-response* услуга. Регулатива начина пословања као резултат има стандардизацију пословања предузећа, док недостатак државне регулативе уводи потребу за пословањем које се базира искључиво на уговорним обавезама између агрегатора и потенцијалних учесника у ланцу. На слици 44 приказани су примери једног нестандардизованог и једног стандардизованог пословања агрегатора.

Године 2017. ENTSO-E регулационо тело за Европу је усвојило документ *Guideline on electricity balancing* [132] у коме се тачно постављају захтеви за операторе и дефинишу *demand-response* радње. Овај документ представља искорак ка ширем прихватању ове технологије као и погоднијем регулационом окружењу за рад. Оператор преносне мреже

у Републици Србији АД ЕМС, као једна од чланица, мора да се придржава ових стандарда. Очекује се да ће се у скоријој будућности регулациони оквир у Србији променити тако да статус *demand-response* сервиса буде исти као и за остале производне активности.



Слика 44. Упоредни приказ стандардизованог и нестандардизованог пословања агрегатора *demand-response* услуга [131]

3.2. Анализа регулационог оквира

Регулациони оквир у Републици Србији је обликован законима и актима који се односе специфично на енергетски сектор. Законе и подзаконска акта прописује Република Србија, док поједина регулациона акта креирају оператори тржишта, мреже или берзе. Основни документ који дефинише активности унутар електроенергетске мреже је Закон о енергетици прописан 2014. Године [133]. Битни подзаконски акти који постављају регулациони оквир су:

1. Уредба о условима испоруке и снабдевања електричном енергијом (*Службени гласник РС*, бр. 63/2013).
2. Уредба о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије (*Службени гласник РС*, бр. 8/13).

Регулационо тело „Агенције за енергетику Републике Србије“ (АЕРС) прописује правила којима се морају водити оператори мреже и тржишта. Анализом ових правила може се доћи до регулационог оквира у коме послују оператори. Разумевање прописаних

делатности оператора неопходно је за формулацију пословних модела усмерених ка операторима. Правила која прописује АЕРС релевантна за потребе овог рада су:

1. Одлука о висини трошкова за издавање лиценци за обављање енергетских делатности (*Службени гласник РС*, бр. 13/16).
2. Критеријуми и мерила за одређивање висине накнаде за лиценце за обављање енергетских делатности (*Службени гласник РС*, бр. 46/13).
3. Методологија за одређивање цене приступа систему за пренос електричне енергије (*Службени гласник РС*, бр. 93/12, 123/12, 116/14, 109/15, 98/16).
4. Методологија за одређивање цене приступа систему за дистрибуцију електричне енергије (*Службени гласник РС*, бр. 105/12, 84/13, 87/13, 143/14, 65/15, 109/15, 98/16).
5. Методологија за одређивање трошкова прикључења на систем за пренос и дистрибуцију електричне енергије (*Службени гласник РС*, бр. 109/15).

Оператори на основу закона и сопственог регулационог оквира дефинишу правила. Правила која прописује оператор тржишта и преносног система АД Електро mreжа Србије представљају основ над којим се дефинишу пословни процеси. Правила релевантна за овај рад су:

1. Правила о раду преносног система.
2. Правила о раду тржишта електричне енергије [134].

Поред учешћа на балансном тржишту потребно је сагледати и правила рада српске берзе електричне енергије SEEPEX.

3.3. Пословни модел

Пословни модел који се предлаже у овом раду за циљ има увођење сервиса *demand-response* на територији Републике Србије. С обзиром на то да електроенергетска мрежа Републике Србије није довољно инфраструктурно ни технолошки развијена да у потпуности подржи ове сервисе, потребно је прилагодити пословни модел локалним условима. Како би се подржала и охрабрила модернизација дистрибутивне мреже, потребно је увести велики број паметних уређаја. Увођењем паметних уређаја, као што су паметна бројила, омогућују се концепти паметних електроенергетских мрежа, над којима би се даље развијало пословање. Алтернатива увођењу бројила, која представља конвенционални приступ увођењу *demand-response* услуга, могућност је рада на нивоу појединачног уређаја преко IoT инфраструктуре. Ова два приступа могу се спроводити и паралелно уколико постоји финансијски потенцијал, чиме би се постигао највиши ниво

ефикасности пословног модела и максимизовала корист од *demand-response* услуга. Због ризичне природе енергетских пројеката и имплементационог опсега *demand-response* пројекта, IoT приступ имплементацији се може показати као погодније решење због минималних почетних инвестиција, самим тим и мањег ризика. Предложени пословни модел представља један приступ имплементацији *demand-response* технологија у Републици Србији, и из овог разлога потребно је осигурати задовољавајуће резултате уз минимизацију иницијалних инвестиција. Због ових ограничења која се стављају пред пословни модел, фокус техничке инфраструктуре је на IoT технологијама.

Оснивањем посебног предузећа које је регистровано као балансно одговорна страна (БОС) омогућава се учествовање на српском тржишту, као и учествовање у балансном механизму. Предуслов учешћа на балансном тржишту је склапање уговорне обавезе са оператором тржишта. Као предуслов склапања уговора о продаји балансне енергије, постављају се технички, пословни и капацитетни предуслови који морају бити задовољени. Као основ испуњавања техничких и капацитетних предуслова поставља се ефикасно увођење IoT инфраструктуре на потрошачкој страни. Пре имплементације инфраструктуре потребно је склопити уговор са физичким лицима чијим уређајима ће се управљати. Уговором физичка лица дозвољавају модификације утичница и коришћење LAN мреже ради предавања контроле над одређеним уређајима. Као додатни услов, зависно од будуће регулативе и карактера оператора, јавља се питање права на јавно снабдевање. Преко прекида права на јавно снабдевање, одговорности Електродистрибуције могу се преbacити на друго предузеће. Предузеће се понаша као агрегатор и оператору мреже ће се представљати као једно правно лице са већим бројем примопредајних места електричне енергије, где свако примопредајно место представља једног корисника. Овим предложено предузеће преузима улогу агрегатора, која је општеприхваћена улога у међународним тржиштима. Прихватањем улоге која је заснована на већ постојећим моделима могуће је ослонити се на постојеће искуство других предузећа, међутим, директно пресликавање није могуће због специфичности локалних закона и регулатива. По овоме је предложен модел јединствен, јер представља модел пословања прилагођен условима у Републици Србији а у исто време се заснива на *demand-response* технологијама.

Предузеће које у свом пословању користи предложени модел куповаће електричну енергију на тржишту електричне енергије како би се задовољила потрошња корисника. Пре куповине енергије на тржишту, потребно је тачно предвидети сумарну потрошњу свих корисника, која мора бити обезбеђена било преко билатералних уговора или преко „дан-унапред“ тржишта. На основу уграђених паметних утичница повезаних преко LAN

мрежа, могуће је учествовати у баланским сервисима и представити оператору низ управљивих потрошњи као једну виртуелну електрану. Поред балансног тржишта, агрегатор увек има опцију продаје дела своје управљиве потрошње на „дан-унапред“ тржишту.

Demand-response тренутно није препознат сервис у Републици Србији, већ га је једино могуће имплементирати адаптацијом постојећих сервиса. Република Србија поседује тржиште балансне електричне енергије где се могу продавати помоћни сервиси регулације. У првој фази рада очекује се продаја само терцијарне регулације на горе и на доле. Након успостављања стабилног рада на тржишту терцијарне енергије, биће пожељна и интеграција са оператором тржишта како би уређаји могли да се одазивају и на позиве за секундарну регулацију преко опонашања AGC контролера.

Главна разлика овог пословног модела у односу на сличне је у томе што агрегатор послује на српском тржишту, у складу са регулативама и тржишним правилима. Зависно од модела пословања, агрегатор на српском тржишту може бити профитна организација, непрофитна организација, или електродистрибуција. Предност предложеног модела пословања у односу на постојеће је ослонац на IoT инфраструктуру и дистрибуиран начин рада у односу на конвенционални приступ који подразумева увођење паметних бројила.

Главна корист предложеног модела у односу на сличне је низак трошак увођења по кориснику. Трошак имплементације је примарно зависан од цене микроконтролера и њихове уградње. Трошкови управљачке и серверске инфраструктуре су минимални, због дистрибуиране природе решења. Ово иницијално улагање је важан елемент за тржишта у развоју која не могу приуштити улагање у напредну мерну инфраструктуру. Графички приказ модела креиран је коришћењем *Business model canvas* шаблона [135].

Пословни модел разложен је по кључним целинама које представљају: партнери, активности, вредности, односи са корисницима, сегменти тржишта, ресурси, канали, структура трошкова и извора прихода. Кратак опис сваке целине заједно са пословном идејом и производом може се видети у табели 11.

Табела 11. *Business model canvas* предложеног пословног модела

Пословна идеја: Учешће домаћинстава у балансном тржишту Републике Србије Производи и сервиси: Помоћни сервиси и <i>demand-response</i>				
Кључни партнери.	Кључне активности.	Предложена вредност.	Однос са корисницима.	Сегменти тржишта.
Електромрежа Србије. Електродистрибуција. Берза.	Развој платформе. Развој сервиса. Развој инфраструктуре. Маркетинг. Управљање корисницима.	Умањење рачуна за електричну енергију преко учешћа у помоћним сервисима.	Самоопслуживање. Аутоматски сервиси. Техничка подршка. Контакт у просторијама предузећа.	Домаћинства и индустријски корисници.
	Кључни ресурси. Мрежна инфраструктура. Мерна инфраструктура. Информациона инфраструктура. Сигурносни системи. Људски ресурси.	Друштвена одговорност у облику очувања животне средине.	Канали. WiFi, LAN, 3G, 4G, GPRS.	
Структура трошкова. Развој софтвера и сервиса. Развој мерне и информационе инфраструктуре.			Извори прихода. Зарада остварена учешћем на тржишту балансне енергије. Државне субвенције.	

3.3.1. Спецификација *demand-response* сервиса у предложеном пословном моделу

У српском тржишту помоћних сервиса уводе се концепти балансног механизма. Балансни механизам обухвата операције балансирања електроенергетске мреже, тј. активације неког од помоћних сервиса ради враћања фреквенције система на прописану вредност. Како би се омогућило учешће у балансном механизму потребно је стриктно се придржавати правила дефинисаних у документима „Правила о раду тржишта електричне

енергије“ [134] и „Закон о енергетици“ [133]. Као предуслов за учешће у балансном механизму, предузеће мора бити проглашено балансно одговорном страном. Обавеза балансно одговорне стране је да се сва потрошња, производња и трговина електричном енергијом пријављује оператору мреже. Ово пријављивање се обавља дан унапред. Пријављена потрошња мора увек бити једнака збиру трговине и потрошње. Прикупљене податке оператор мреже користи како би ускладио рад и распоред генератора током следећег дана. Током дана за који су подаци пријављени оператор мреже читава остварену потрошњу, производњу и трговину електричном енергијом. На крају дана се упоређују пријављене и остварене вредности, и уколико је дошло до одступања које је веће од дозвољеног, новчано се кажњава балансно одговорна страна. За пословни модел предложен у овом раду највеће дозвољено одступање може бити 1MW. Како би се ефикасно обављала делатност балансно одговорне стране потребно је скупљати информације о потрошњи појединачних корисника ради прављења прогноза за следећи дан. Тачно предвиђање потрошње корисника представља кључни предуслов у пословању агрегатора, због потенцијалних финансијских губитака који могу настати при лошим пријавама.

Уколико је предузеће балансно одговорна страна, оно има право да учествује у балансном механизму. Учешће у балансном механизму постиже се преко удаљеног управљања корисничким уређајима.

Терцијарна регулација на доле је потребна уколико је фреквенција електроенергетског система преко 50Hz, што указује да је производња електричне енергије много већа него потражња. Како би се смањила фреквенција потребно је:

1. Смањити производњу електричне енергије, или
2. Повећати потрошњу електричне енергије.

У тренутном стању тржишта предност се даје смањењу производње због недостатка управљиве потрошње. За предложени модел од интереса је други приступ, пошто је могуће укључивање корисничких уређаја како би се повећала потрошња.

Процес захтевања терцијарне регулације почиње оператор балансног тржишта који захтева терцијарну регулацију на доле, изражену у MW, на коју је потребно одговорити у року од пола сата. Са тржишта се бира понуда за регулацију која има најнижу цену и она се ангажује. Претпоставимо да је понуда предузећа које се предлаже у овом раду активирана. Предузеће тада активира уређаје који су се пријавили за сервис како би се постигла жељена снага у MW. Ова потрошња се мора одржати у просеку од једног сата. Енергија за потребе терцијарне регулације на доле купује се директно од оператора а не

са тржишта електричне енергије. Енергија добијена преко регулације на доле има увек цену нижу од тржишне, дакле, остварена је уштеда. Ова разлика између тржишне цене електричне енергије и остварене цене дели се на део који ће задржати предузеће и на део који ће се доделити кориснику.

Идеални уређаји за овај тип регулације су уређаји који се не користе редовно и њихово коришћење није превише временски зависно. Примери оваквих уређаја су термоакумулациона пећ, бојлер, машина за веш, машина за прање суђа и други уређаји чије укључење је могуће одложити неколико сати док не буде било потребе за регулацијом на доле.

Друга услуга је терцијарна регулација на горе. Она се јавља у случајевима када је потрошња већа од производње (испод 50Hz) и потребно је:

1. Повећати производњу, или
2. Смањити потрошњу.

За предложени пословни модел је од интереса друга ставка. Смањење потрошње подразумева да је неки уређај већ укључен и да троши електричну енергију како би могао да се искључи.

Процес захтевања терцијарне регулације почиње тако што оператор балансног тржишта захтева терцијарну регулацију на горе изражену у MW, на коју је потребно одговорити у следећих сат времена. Са тржишта се бира понуда са најнижом ценом и она се ангажује. Претпоставимо да је понуда предузећа активирана. Предузеће гаси уређаје који су пријављени за овај сервис, и држи их искљученим. Ово искључење у просеку траје око једног сата. Оператор мреже даје новчану надокнаду за смањење потрошње. Ова надокнада је обично нижа од цене електричне енергије коју би уређај купио са тржишта, али при вршним периодима може бити знатно виша од тржишне цене. У овом случају надокнада оператора се дели на део који задржава предузеће и на део који задржава корисник. Стога је пожељно више наградити корисника, пошто му је смањен комфор искључењем уређаја који је био у употреби.

Идеални уређаји за овај тип регулације су уређаји који су стално укључени, и они за које се поуздано зна да ће бити укључени у то време, било преко редовног проверавања да ли је уређај укључен или преко корисничког пријављивања. Најбољи пример оваквог уређаја је клима-уређај.

Како би се што мање нарушавао комфор корисника, захтев за регулацију се може распоредити на више уређаја, тако да се време које уређај мора провести укључен или

искључен сведе на минимум. Применом дистрибуираног управљања уређајима могуће је десет уређаја секвенцијално активирати шест минута, и постићи ефекат као да је један уређај активиран целих 60 минута. Овим се смањује укупан капацитет мреже, али се добија на флексибилности. Додатни предуслов за осигуравање комфора корисника било би ограничење да се уређај не може удаљено искључити унутар првих пола сата коришћења.

Даљим развојем мреже и сарадњом са операторима биће омогућено учешће и на тржишту секундарне балансне енергије. Кључна разлика између секундарне и терцијарне регулације је та што се секундарна регулација обавља искључиво на машинском нивоу. Постоји контролер који издаје команду за овим видом регулације, и на њу је потребно реаговати у року од неколико минута. Трајање овог типа регулације је краће од терцијарне регулације и у просеку траје десет минута. Цена секундарне регулације по MW је знатно већа од цене терцијарне регулације.

Погодни уређаји за овај тип регулације су исти као и за терцијарну регулацију.

Крајњи циљ предложеног модела је учешће у примарној регулацији. Овај тип регулације је јединствен по томе што је прилагођен за генераторе, и није предвиђен за управљиву потрошњу. Развојем технологије и прихватањем нових стандарда, постојаће могућност измене примарне регулације тако да се у њу може укључити и управљива потрошња. Одговор на примарну регулацију потребно је извести у року од једне секунде, што је оствариво уколико би се користила TCP/IP комуникација. Трајање овог сервиса је у просеку десет секунди. Недостатак за примену овог сервиса је што се често користи и што редовна искључења и укључења корисничких уређаја могу негативно утицати на њихов будући рад и повећати учесталост кварова.

Погодни уређаји за овај тип регулације су они који раде током целог дана, и чијим се искључењем на неколико секунди неће угрозити њихов будући рад. Пример оваквог уређаја је фрижидер.

3.3.2. Организациони и технички детаљи пројекта

Предложени пословни модел имплементираће се као предузеће које подстиче ангажовање корисника, увођење и одржавање система. Корисник неће финансирати увођење паметне инфраструктуре, нити месечне претплате за учешће у балансном механизму. Очекује се да ови олакшани услови привуку велики број корисника, било због новчане надокнаде или осећаја друштвене одговорности и очувања животне околине.

Финансијска добит и изостанак почетног улагања треба да резултују повећаним нивоом ангажовања и интересовања корисника.

Како би се уградио велики број дистрибуираних микроконтролера потребна је активна сарадња са предузећима из енергетског сектора, или Електродистрибуцијом. Да би се систем одржавао и унапређивао, профит остварен од продаје помоћних сервиса биће дељен између корисника и предузећа. Део профита који ће се додељивати корисницима служиће за повећање иницијативе корисника, а део профита који ће се додељивати предузећу користиће се за унапређење пословања.

Постоје четири модела електронског пословања која су могућа на српском тржишту електричне енергије. Сваки од ових модела има своје иницијалне претпоставке, предности и недостатке.

Модел 1. У првом приступу главни актер и носилац пословних процеса је новоосновано предузеће, које се понаша као агрегатор кућних уређаја. Свако од домаћинстава потписује уговор о потпуном снабдевању са предузећем. Предложено предузеће може бити профитна или непрофитна организација, зависно од модела другачије би се управљало капиталом.

Претпоставке:

1. Тренутни регулациони оквир је непромењен.
2. Предузеће постаје балансно одговорна страна.
3. Предузеће мора преузети следеће обавезе:
 - Обезбеђивање енергије за сва домаћинства преко тржишта.
 - Процена потрошње електричне енергије за сва домаћинства.
 - Финансијска одговорност за одступања од пријављене потрошње.
 - Месечни обрачун корисничких рачуна, и наплата месечне потрошње.
 - Сарадња са оператором дистрибутивног система око читавања бројила.

Предности:

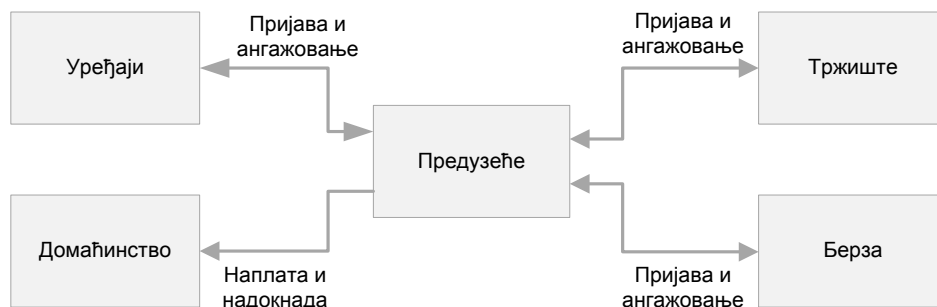
1. Овај приступ задовољава тренутни регулациони оквир.
2. Предузеће упркос потенцијалном финансијском губитку може остварити и профит.

Недостаци:

1. Предузеће мора поседовати софистициране методе прогнозе.
2. Систем мора имати велики број учесника, како девијације појединачних учесника не би утицале на целокупну прогнозу.

3. Тржишна цена електричне енергије може бити већа од резиденцијалне, рачуни за свако домаћинство би били већи.
4. Свако одступање од пријављене потрошње мора бити финансијски надокнађено.
5. Предузеће мора да шаље месечне рачуне сваком од корисника, и да се финансијски поравнава са сваким појединачно.

На слици 45 је приказан упрошћени модел пословања.



Слика 45. Упрошћен приказ првог модела пословања

Модел 2. У другом приступу улога главног актера и носиоца пословних процеса је дељена између оператора дистрибутивног система (енг. *Distribution system operator, DSO*) и новонасталог предузећа. Предузеће склапа уговор о сарадњи са DSO. Сва домаћинства остају под резиденцијалним ценама и под окриљем дистрибутивног оператора. Предузеће се бави администрацијом и управља *demand-response* системом. Након сваког пословног дана, шаље податке о учешћу на тржишту дистрибутивном оператору који ажурира месечни рачун резиденцијалних корисника. Предложено предузеће може бити профитна или непрофитна организација, зависно од модела другачије би се управљало капиталом.

Претпоставке:

1. Промена тренутног регулационог оквира.
2. Посматрање предузећа као произвођача електричне енергије или увођење новог типа произвођача.
3. Регулатива и проблематика око мерења тачног капацитета, мерења ангажованог капацитета итд.
4. Могућност сарадње између DSO и предузећа.
5. Предузеће има следеће обавезе:
 - Координацију и управљање корисничким уређајима.
 - Учешће на тржишту.
 - Размену информација и уску сарадњу са оператором дистрибутивне мреже.

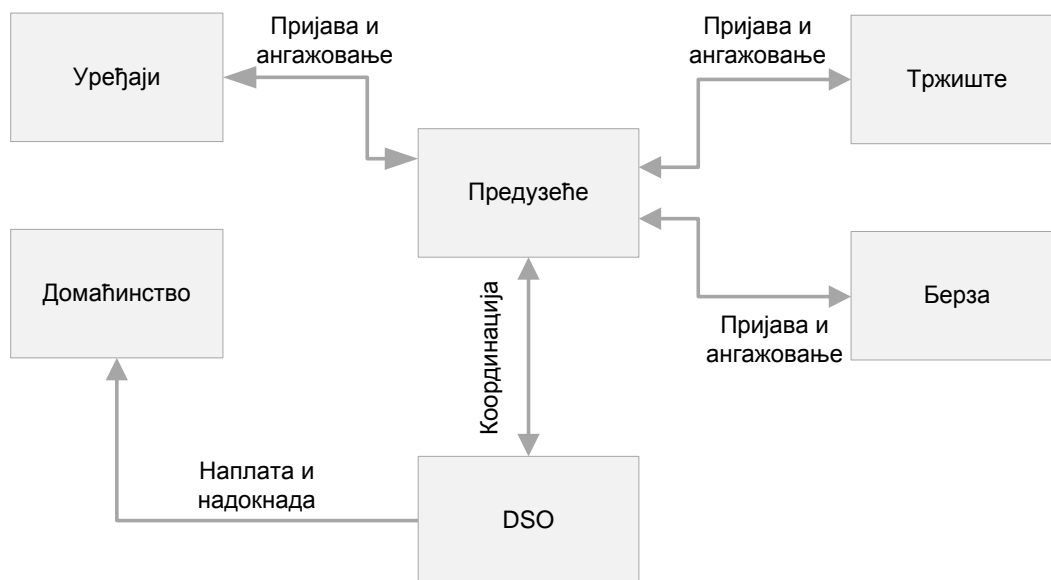
Предности:

1. Предузеће се може фокусирати на *demand-response*.
2. Координација са DSO ослобађа предузеће од потребе да пријављује и фактурише потрошњу појединачних домаћинстава.

Недостаци:

1. Новац од учешћа на тржишту мора се делити између предузећа и DSO, домаћинства остварују мање добитке.
2. Уска сарадња са DSO смањује флексибилност предузећа.
3. Потенцијални проблеми у координацији са DSO у вези са активираним уређајима и приступ подацима.

Слика 46 илуструје упрошћен приказ овог модела пословања.



Слика 46. Упрошћен приказ другог модела пословања

Модел 3. У трећем приступу главни актер и носилац пословних процеса је DSO, који се понаша као агрегатор кућних уређаја упоредо са својим стандардним активностима. Свако од домаћинстава се већ налази у овом систему, тако да су законске и финансијске препреке минималне. Због овог разлога, ово решење је идеално за окружења у којима постоји висок ниво поверења у државне операторе. С обзиром на актуелну организацију и регулативу српског тржишта електричне енергије овај пословни модел је решење које за минимална иницијална улагања може понудити највеће бенефите.

Претпоставке:

1. Дистрибутивни систем мора обезбеђивати своју енергију на тржишту електричне енергије, а не преко уговора о тоталном снабдевању.
2. Доношење регулативе којом се од DSO захтева увођење и спровођене *demand-resposne* програма.
3. DSO мора имати довољно иницијативе и флексибилности да покрене овакав програм.

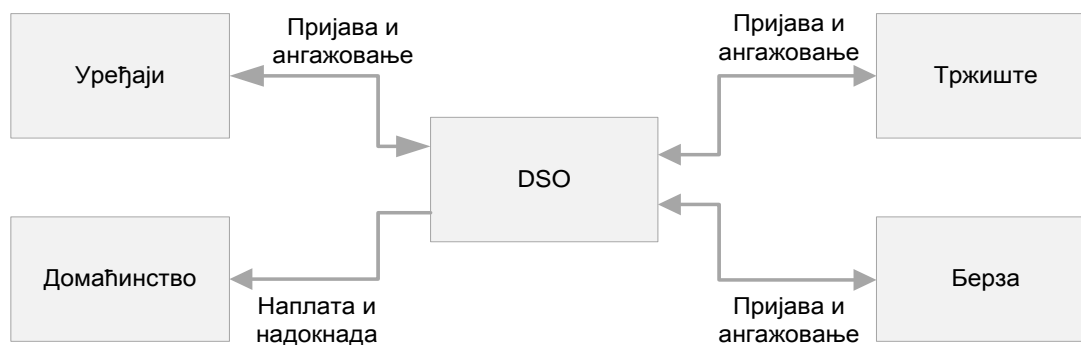
Предности:

1. Већ постојећи функционални пословни модел за пријављивање и мерење потрошње.
2. Минимално ангажовање од стране DSO за реализацију оваквог решења.
3. Домаћинства могу остварити веће добитке, због постојања само једног посредника, а приходи се могу одузети од месечног рачуна и тиме упростити цео процес.
4. Државна регулатива и куповина електричне енергије на велико од стране DSO може домаћинствима обезбедити нижу цену енергије него да се тиме бави треће лице.

Недостаци:

1. Даља централизација система, насупрот пожељној децентрализацији.
2. Низак ниво интересовања, иницијатива искључиво на нивоу законске обавезе.

На слици 47 може се видети упрошћен приказ овог модела пословања.



Слика 47. Упрошћен приказ трећег модела пословања

Модел 4. Четврти приступ представља модел специјализован за балансирање и подршку обновљивим изворима енергије. Предузеће или DSO склапа уговор са произвођачима који поседују генераторе базирани на соларним панелима и ветру. На основу сигнала генератора, смањује се или повећава потрошња тако да се прате флукуације уређаја. Уколико се генератори налазе на дистрибутивној мрежи, кориснички уређаји се морају налазити у околини. Произвођач на крају месеца награђује DSO или новонастало

предузеће за балансну активност. Овај модел, иако ефикасан, није превише применљив на српском тржишту због недовољног коришћења обновљивих извора енергије.

Претпоставке:

1. Промена законске регулативе уколико је посредник DSO.
2. Уговор о тоталном снабдевању са балансно одговорном страном уколико је посредник предузеће.
3. Није потребна промена законске регулативе.
4. Све претпоставке за приступ 1. су валидне уколико се користи новонастало предузеће, осим претпоставки везаних за балансну одговорност.
5. Промена законске регулативе ако је посредник комбинација DSO и новонастало предузеће.
6. Све претпоставке за приступ 3. су валидне уколико се користи DSO.

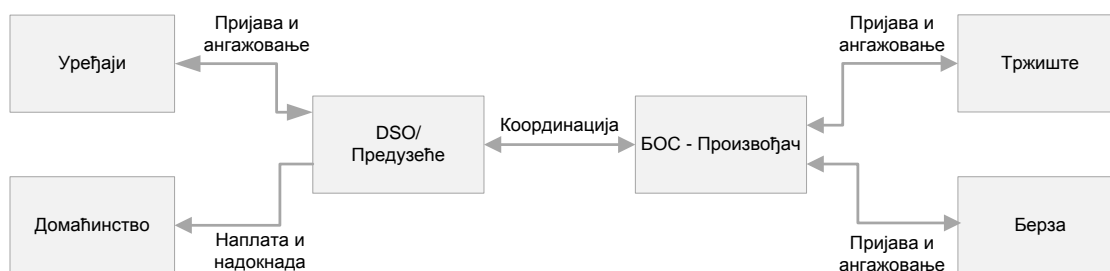
Предности:

1. Дистрибуирано балансирање система на нивоу електране.
2. Директан утицај на исплативост обновљивих извора енергије.
3. Све предности зависно од модела који је изабран као посредник према БОС су валидни.

Недостаци:

1. Сви недостаци, зависно од модела који је изабран као посредник према балансно одговорној страни, валидни су.

На слици 48 приказан је упрошћени модел описаног начина пословања.

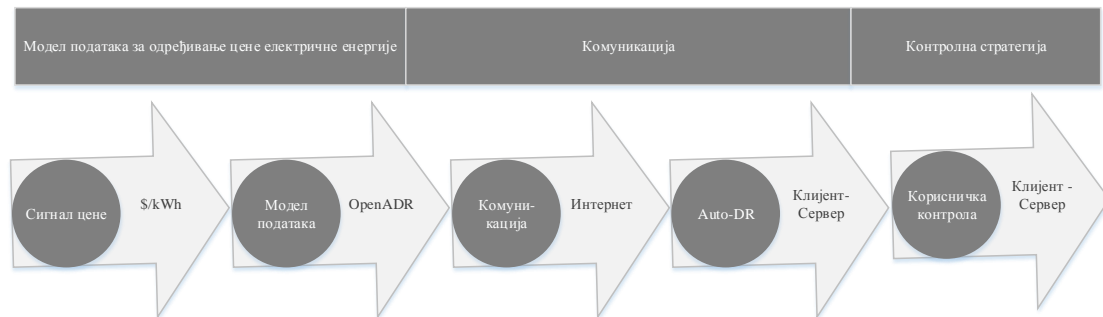


Слика 48. Упрошћен приказ четвртог модела пословања

3.3.3. Спецификација архитектуре решења

Са техничке стране, биће коришћен дистрибуирани систем паметних утичница које комуницирају преко TCP/IP протокола и преко корисничке LAN мреже. Ови уређаји ће слати своје податке о потрошњи и примати команде од централног контролера. Количине информација које ће се размењивати иницијално ће бити минималне пошто српска тржишта функционишу на сатном нивоу. Како се тржиште буде развијало, смањиваће се интервал прикупљања података. Упоредо са контролним серверима мора постојати и сервер за корисничке сервисе који ће се бавити фактурисањем, подешавањем режима рада уређаја и извештавањем. Део за фактурисање бавиће се израдом рачуна за потрошњу електричне енергије за сваког корисника појединачно, а који ће бити умањен за надокнаду за учешће у сервисима. Део одвојен за корисничке сервисе садржаће опције за подешавање преферираног режима рада уређаја и одабир сервиса у којима ће уређај учествовати. Део за извештавање ће понудити кориснику увид у сатну потрошњу електричне енергије подељену по уређајима, као и информације везане за сервисе које је понудио и пословање самог предузећа.

Апстрактан поглед на комуникациони модел на коме ће се заснивати решење приказан је на слици 49.

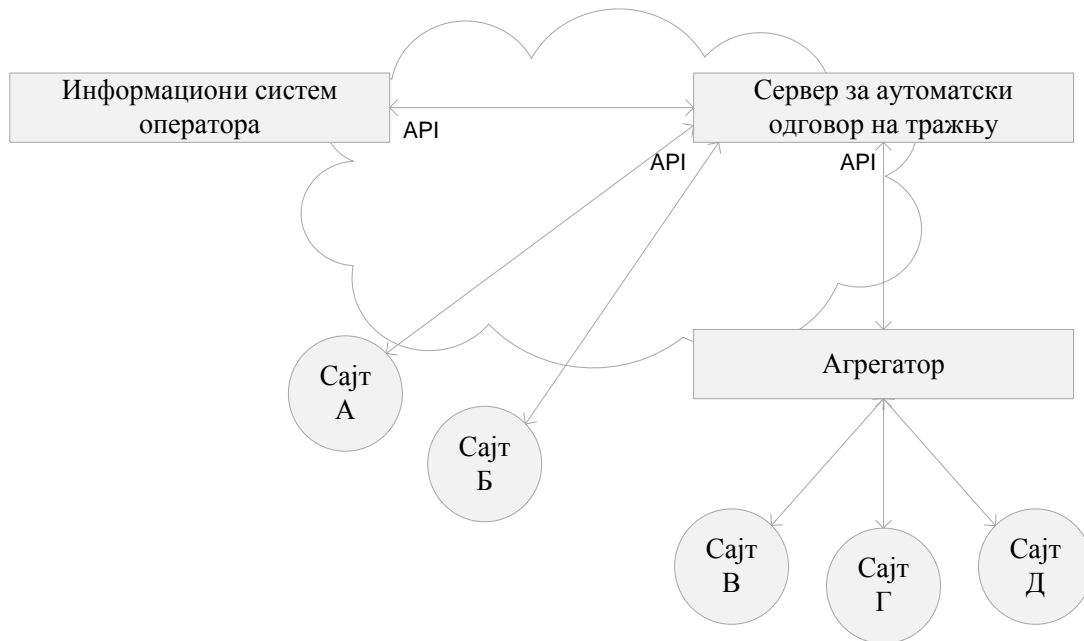


Слика 49. Комуникациони модел [136]

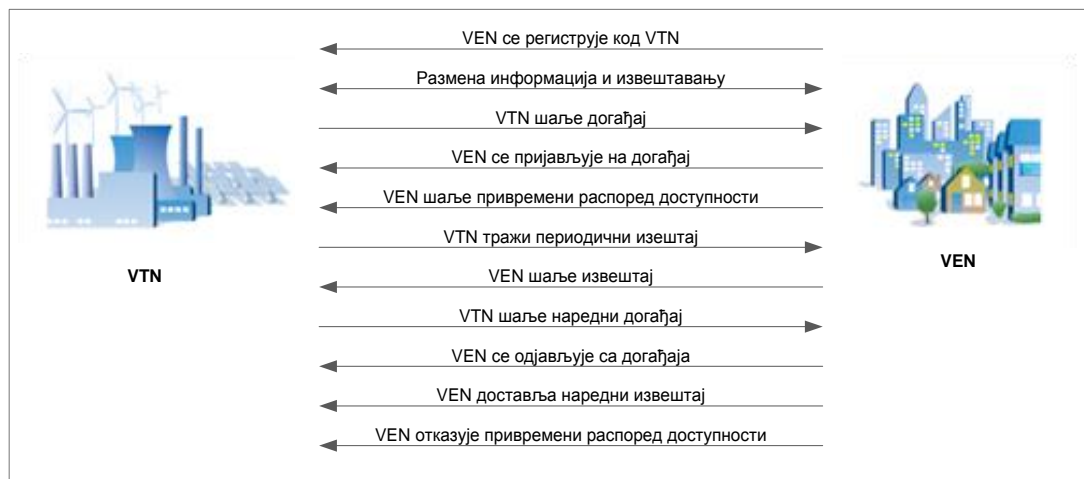
Како би се омогућила делатност *demand-response*-а потребно је обезбедити сталну комуникацију са оператором тржишта. Ова комуникација се мора одржавати на константном нивоу како би оператор био упознат са услугама које су му понуђене.

У циљу једноставнијег приказа комуникације, уводи се термин VTN (енг. *Virtual top node*) који представља сервер, и VEN (енг. *Virtual end node*) који представља клијенте. Уређај може имати улогу VTN, VEN или обе у исто време. Овај начин означавања се користи за опис система који раде по OpenADR стандардима.

За имплементацију система ове комплексности потребно је ослонити се на сервисно оријентисану архитектуру. Приказ једне имплементације сервисно оријентисане архитектуре која служи за *demand-reponse* дат је на слици 50. Сходно овом виду архитектуре стандардни тип података који се размењује је XML. Приказ једног случаја коришћења и сервиса који се позивају може се видети на слици 51.



Слика 50. Приказ једног система за *demand-response* [137]



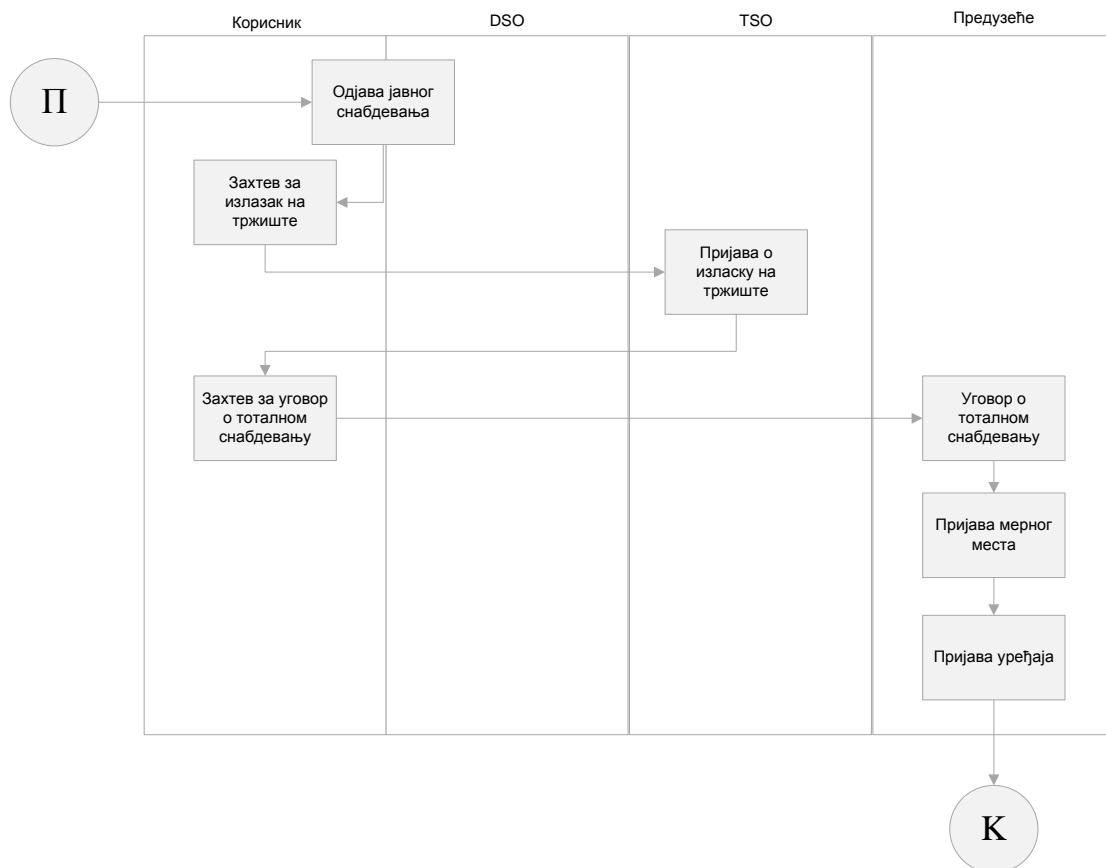
Слика 51. Пример случаја коришћења OpenADR система [136]

3.4. Модел пословних процеса

Кључни пословни процеси у описаном пословном моделу су:

1. Поступак изласка домаћинства на тржиште и приступање *demand-response* систему.
2. Учествовање на тржишту.
3. Компензација корисника.

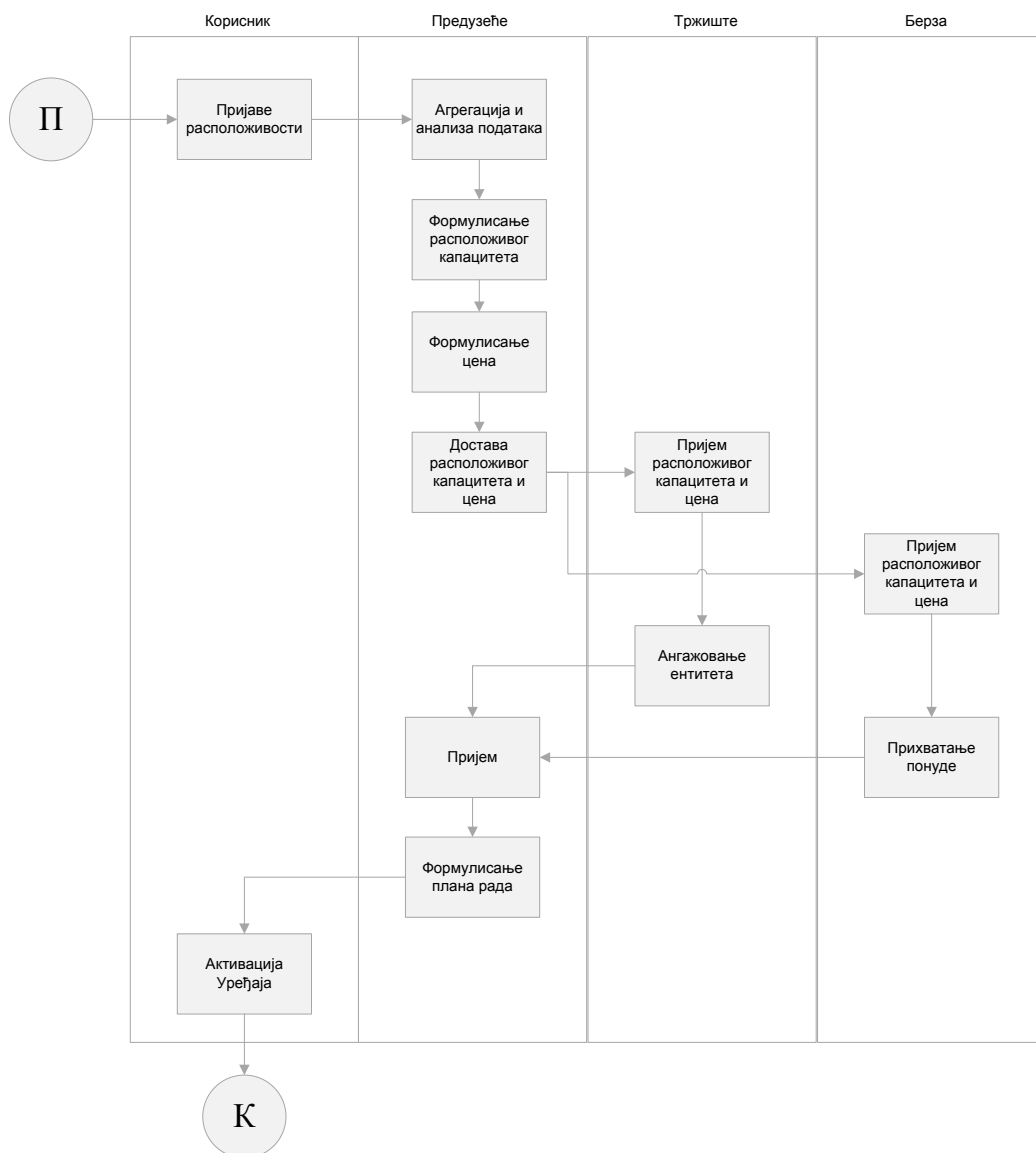
Пословни процес изласка домаћинства на тржиште електричне енергије и приступања *demand-response* систему представља иницијални корак домаћинства. Овај пословни процес је административне и правне природе. Корисник се одриче свог права на јавно снабдевање и подноси захтев за излазак на тржиште. Након изласка на тржиште, домаћинство мора склопити уговор са трећим лицем око снабдевања електричном енергијом. Склапањем овог уговора, домаћинство се пријављује на систем, и региструје своје уређаје. Поједностављени приказ овог пословног процеса приказан је на слици 52.



Слика 52. Процес изласка на тржиште електричне енергије

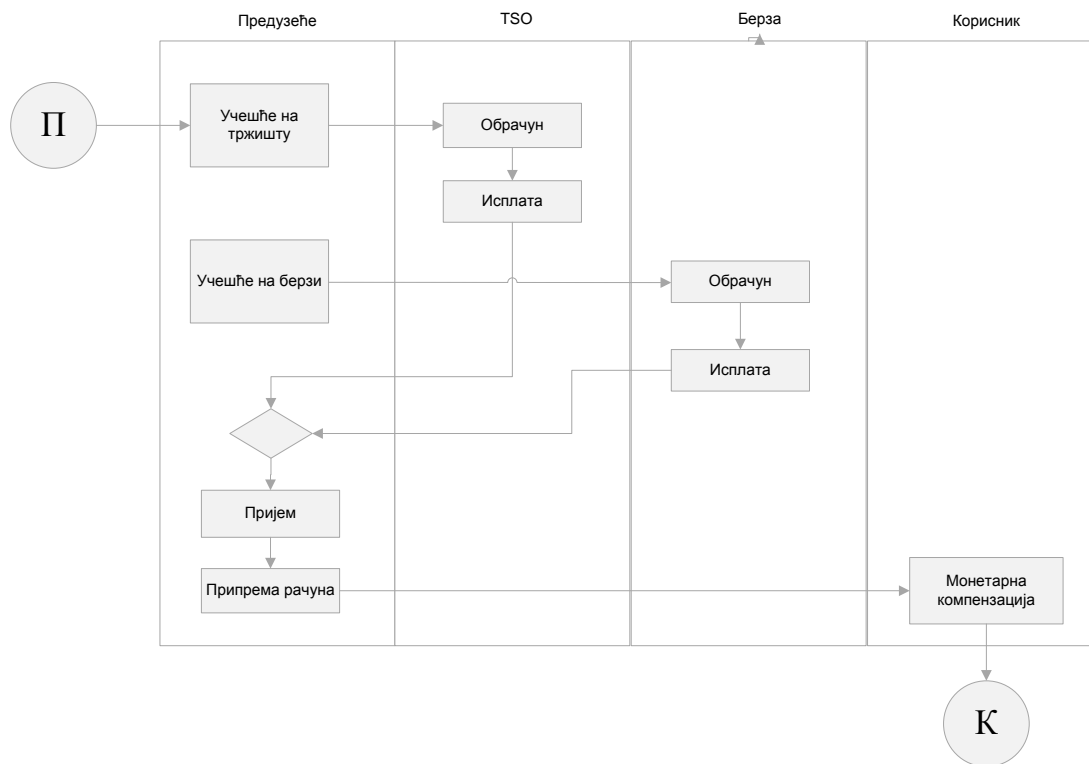
Пословни процес учествовања на тржишту електричне енергије представља главну активност тела задуженог за *demand-response*. Пословни процес почиње од корисничких

уређаја који шаљу своју историју расположивости. На основу анализе достављених података и других кључних фактора предузеће мора агрегирати податке и формулисати план расположивог капацитета за изврстан период. Зависно од стања на тржишту и берзи, предузеће за сваки подпериод дефинише цене *demand-response* сервиса. Комбинација доступних капацитета и цена доставља се *day-ahead* берзи и балансном тржишту. Уколико дође до активирања понуда од стране тржишта или берзе, предузеће бива о томе обавештено, и сходно томе активира резервисане капацитете. Поједностављен приказ овог пословног процеса може се видети на слици 53.



Слика 53. Процес учешћа на тржишту електричне енергије

Пословни процес компензације корисника представља резултат учешћа на тржишту и берзи. Под условом да су понуде активирани, након прописаног периода тржиште и берза извршиће уплату на рачун предузећа. Пријемом фактуре, предузеће формира рачун за сваког корисника, и умањује га сходно учешћу у *demand-response*-у. Поједностављен приказ овог процеса налази се на слици 54.



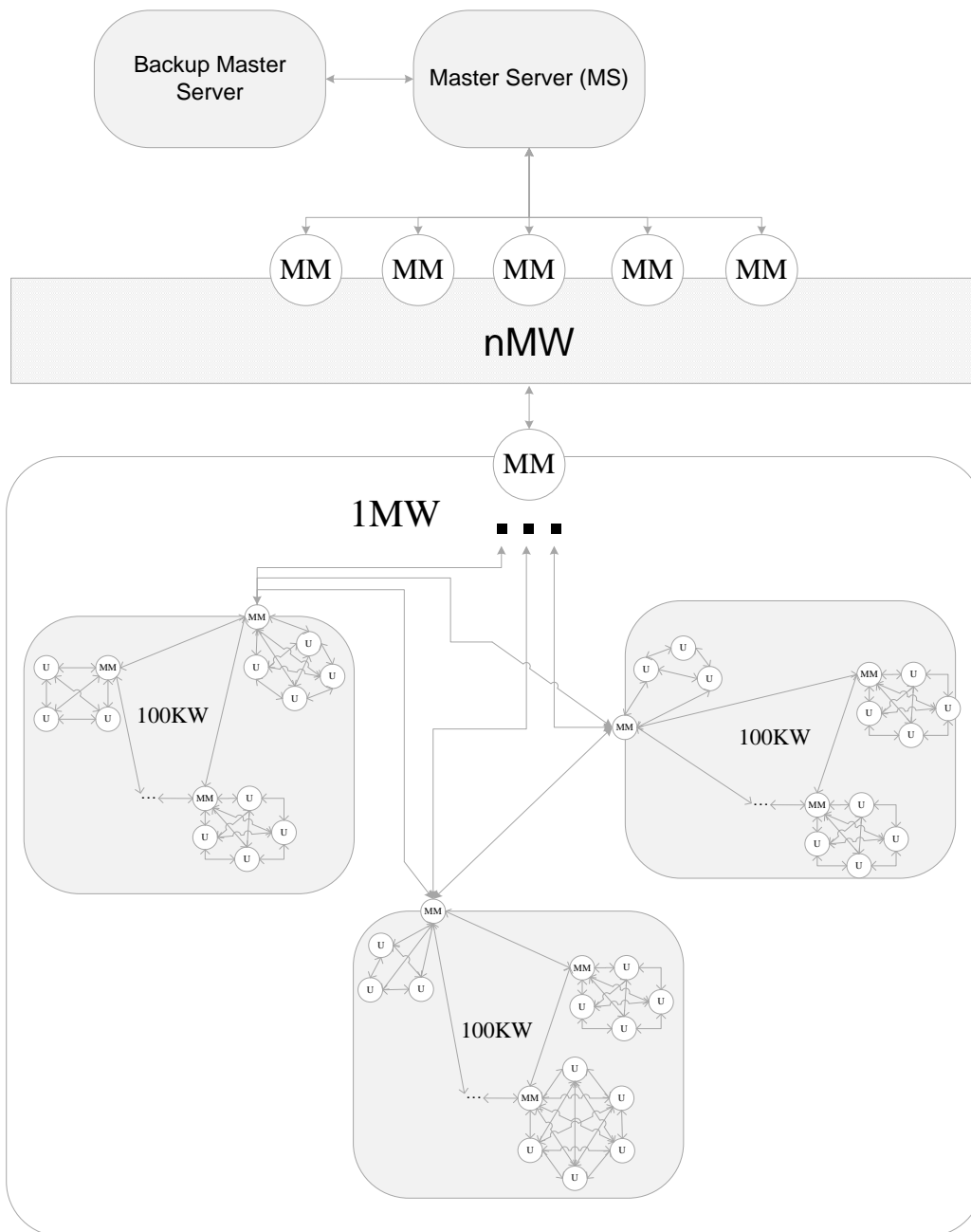
Слика 54. Пословни процес монетарне компензације корисника

3.5. Моделирање архитектуре система

Архитектура система подразумева дистрибуирану мрежу повезаних корисничких уређаја. Чворови мреже могу имати следеће улоге: *Master Server* (MS), *Mesh Master* (MM), Уређај (U), при чему U може играти и улогу MM. Градивни блок мреже представља *mesh* мрежа међуповезаних укључених уређаја, са колективним капацитетом од 10^n KW где n може имати вредности од 1 до 3. Једна *mesh* мрежа од 10^n KW састоји се од десет 10^{n-1} KW *mesh* мрежа, са изузетком 10 KW *mesh* мреже која може имати произвољан број чланова. Атомични елемент мреже представља појединачни уређај са типичним капацитетом од 1–3 KW. Свака од 10^n KW *mesh* мрежа садржи главни MM чвор који представља везу са остатком мреже, то јест другим 10^n KW MM чворовима. MS чвор представља серверску машину која се налази у просторијама предузећа. Главна функција MS чвора је

активација уређаја, то јест прослеђивање свим 10^3KW MM чворовима захтева за активацију одређеног капацитета.

Такође, MS игра улогу при пријављивању нових чворова у мрежу. Нови уређаји се пријављују MS-у, који их на основу статуса мреже прослеђује коректном 10^nKW MM чвору. Поједностављени приказ архитектуре дистрибуираног система за *demand-response* може се видети на слици 55.



Слика 55. Архитектура дистрибуираног система за *demand-response*

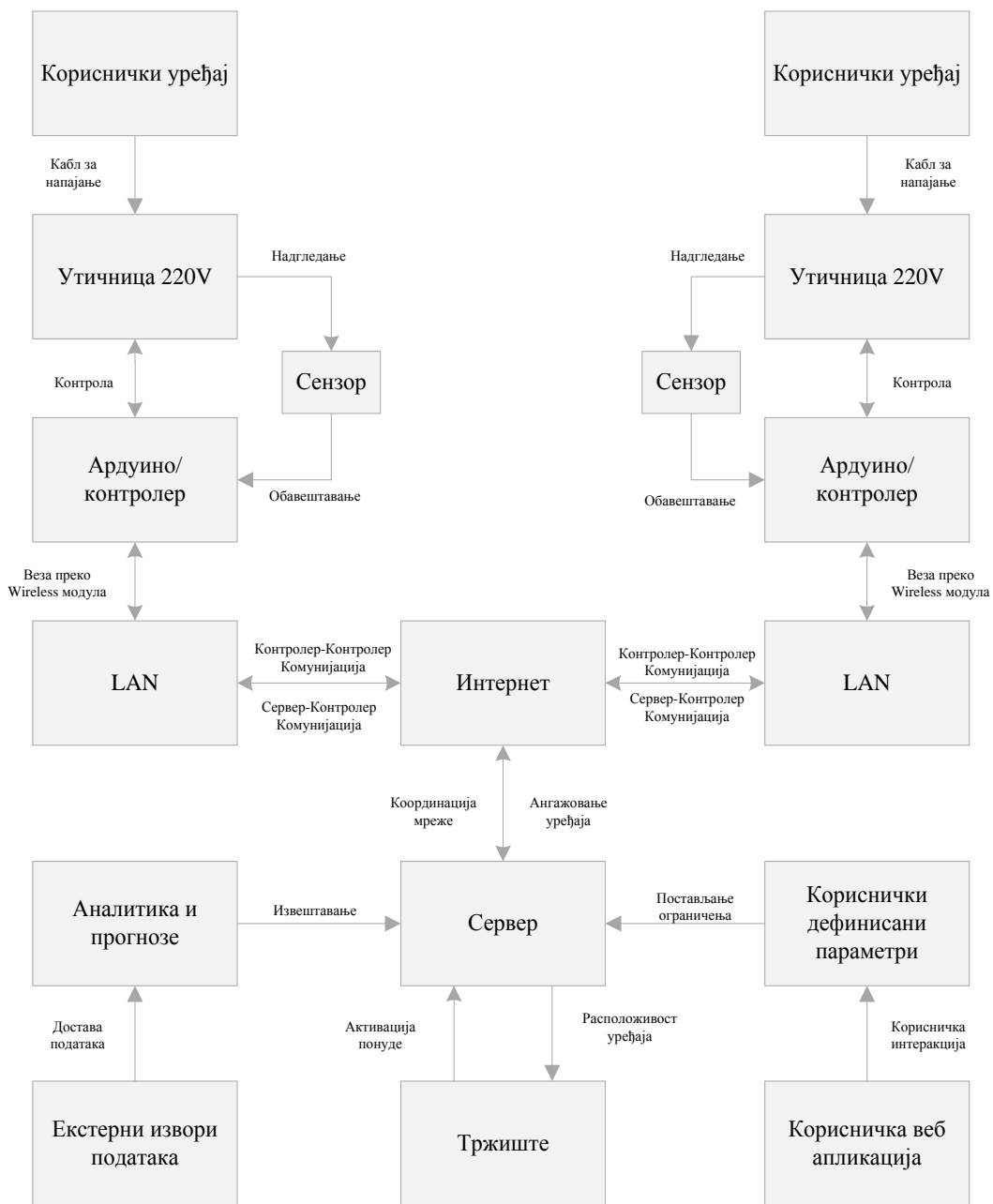
3.6. Моделирање IoT инфраструктуре и софтверских сервиса

Кориснички уређаји представљају основни део техничке инфраструктуре пројекта. Кућни уређаји по својој природи могу садржати одређени ниво „интелигенције“ или могу бити потпуно изоловани од окружења [138]. IoT инфраструктура се моделује са претпоставком да већина уређаја нема могућност комуникације ни индивидуалне интелигенције. Како би се постигао основни ниво интелигенције потребан за имплементацију овог система, потребно је да сваки уређај има свој контролер и комуникациони модул [139]. Будући да уређаји немају ове могућности, потребно их је унапредити на начин на који њихова основна функционалност не би била угрожена. За потребе управљивог *demand-response* система потребно је уређају придружити контролер који може палити и гасити уређај. Због једноставности имплементације, контролер ће се налазити унутар утичнице и понашати као прекидач за доток струје уређају. Како би се управљало радом уређаја, претпоставка је да је уређај укључен. Контролер ће управљати уређајем на основу података који долазе из два модула: сензорског и комуникационог. Сензорски модул ће надгледати рад уређаја на нивоу потрошње струје. Овај податак ће бити прослеђен контролеру како би био свестан рада и енергетских карактеристика уређаја. Комуникациони модел је предвиђен као мрежна картица са могућношћу повезивања на корисничку LAN или WiFi мрежу. Комуникациони модул служиће за комуникацију са другим уређајима унутар мреже, за координацију, за примање и слање захтева за искључење уређаја, и за комуникацију са корисником.

За координацију и подешавање уређаја потребан је серверски део инфраструктуре. Серверска инфраструктура се налази на удаљеној локацији са везом ка интернету, што омогућава приступ корисничким уређајима. Поред координације, сервер има и кориснички аспект. На серверској страни је потребно хостовати RESTful веб-апликацију која ће опслуживати кориснике и омогућити им преглед активности уређаја. Сваки од модула имаће свој скуп сервиса, који представљају градивне блокове IoT система. Пошто је систем дизајниран с претпоставком да кориснички уређаји немају IoT могућности, кориснички уређаји не садрже сервисе. Утичница, иако није конкретан део система, мора бити прављена по одређеним стандардима, да поставља хардверска ограничења која се морају поштовати. Сензорски подмодул садржи сервисе који се баве надгледањем потрошње струје. Такође, садржи комуникационе могућности на нивоу комуникације сензор–контролер. Зависно од хардверске инфраструктуре, сензор може садржати додатне функционалности, као што су предобрада података, агрегација и слично. Комуникациони подмодул представља основ *demand-response* система, па се велики број

сервиса и пословне логике налази унутар овог модула. Комуникациони модул садржи сервисе за комуникацију са другим уређајима којима се одржава рад дистрибуираног система. Садржи и стандардне сервисе који су потребни за функционисање једног дистрибуираног система: придруживање и учествовање у дистрибуираном систему, аутономна координација унутар сопствене *mash* мреже, ширење информације о својој расположивости, повезивање на корисничку мрежу преко бежичне инфраструктуре, могућност комуникације преко TCP/IP протокола, комуникација са контролером. Контролерски модул садржи сервисе везане за управљање самим уређајем. Ови сервиси се односе на прекидање тока струје ка уређају и на обраду података који су примљени од других модула. Серверски модул представља централни део дистрибуиране мреже који служи за иницијалне координационе активности. Садржи сервисе који су задужени за прикупљање и агрегацију расположивости уређаја и њихових капацитета, како би се знало целокупно стање система. Сервиси за ангажовање одређених сегмената дистрибуиране мреже представљају примарну функцију система, и могу се активирати при прихватању понуде од стране тржишта електричне енергије. Сервер такође садржи извештајни подсистем који садржи сервисе који се примарно баве генерисањем извештаја везаних за претходно и будуће учешће на тржишту.

Да би се омогућио рад извештајног подсистема, потребно је обезбедити адекватну аналитичку инфраструктуру способну за обраду историјских података, и интеграцију екстерних података [140]. Ови аналитички сервиси су способни за предвиђање будућег стања мреже применом статистичких модела као и за одређивање оптималне цене електричне енергије на основу тржишних услова. Сервер такође садржи корисничке сервисе којима се приступа преко веб-апликације. Веб-апликација нуди сервисе за пријаву корисника и уређаја, њихово ажурирање и евентуално уклањање, сервисе где корисници могу прегледати ангажовање својих уређаја и добит, и постављати ограничења на рад уређаја. На слици 56 може се видети упрошћени приказ комуникације између модула и подмодула IoT система, као и везе са спољним системима.



Слика 56. Упрощени модел IoT система и функционалности сервиса

3.7. Моделирање система за извештавање

Системи за извештавање представљају кључни део *demand-response* система. Ови системи се у већој мери налазе на операторској и агрегаторској страни пословних процеса. Системи за извештавање треба да обезбеде механизме мерења и праћења перформанси и догађаја у систему на које *demand-response* треба да реагује. Систем за извештавање треба да обезбеди да се упоредо са поступком надгледања, обезбеде и показатељи потребни за анализе финансијске оправданости даљег улагања у *demand-response* систем.

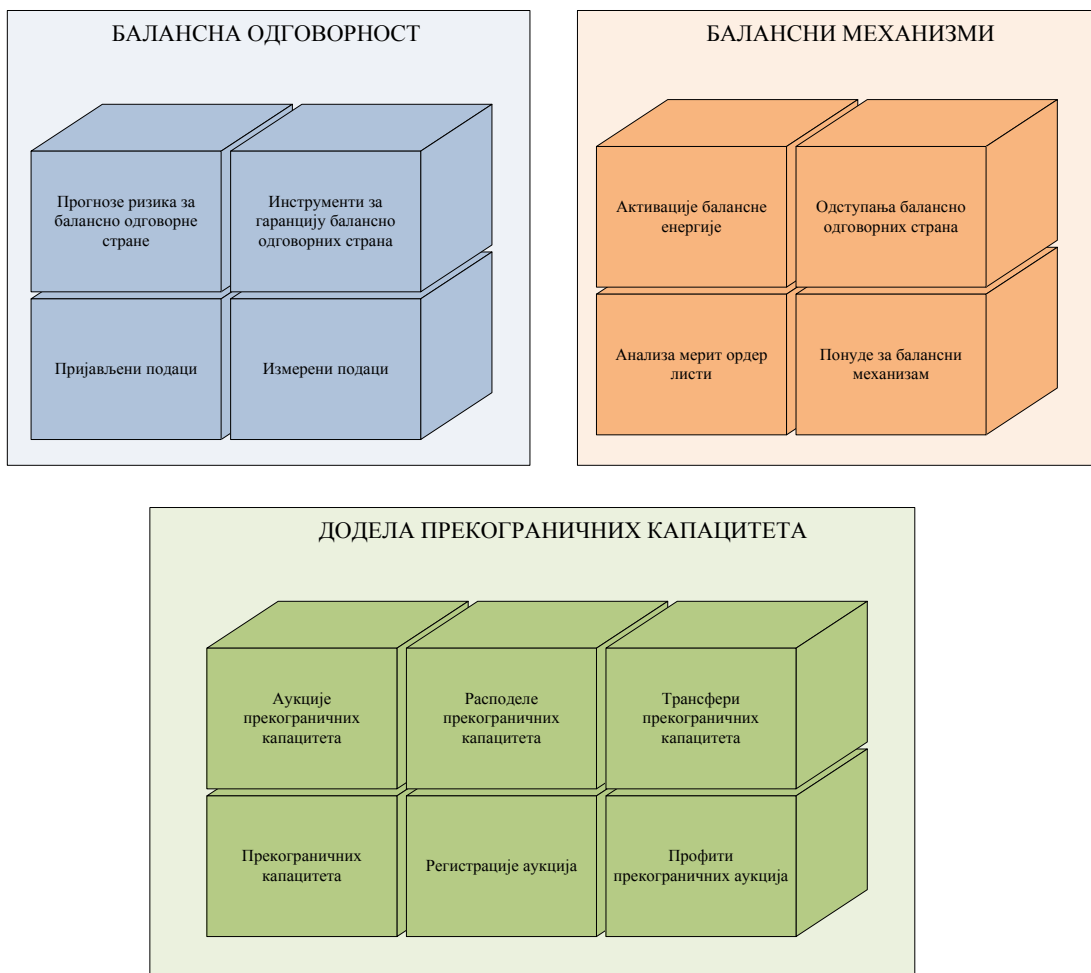
Систем пословне интелигенције на страни оператора тржишта мора понудити механизме за надгледање и аналитику балансног тржишта. Осим генерисања извештаја високе грануларности потребно је обезбедити анализе сумарних и историјских података рада тржишта и понашања учесника. Како би се ефикасно пратиле све појаве и промене везане за *demand-response* и њихов утицај на тржиште потребно је увести скуп кључних показатеља перформанси, преко којих би се могло недвосмислено сагледати стање *demand-response* програма.

За обезбеђење довољног нивоа детаљности анализе тржишта, потребно је дефинисати одговарајући модел података који обухвата кључне пословне процесе. Кључни процеси унутар тржишта електричне енергије су: Балансна одговорност, Балансни механизам и Алокација прекограничних капацитета. Упрошћени приказ одговарајућих група у моделу података (енг. *data mart*) за потребе пословне интелигенције може се видети на слици 57.

Применом алата пословне интелигенције на модел података, прилагођен кључним процесима тржишту, омогућава се увид у потенцијалне промене на тржишту, које настају услед деловања *demand-response* сервиса. Упоредо са идентификацијом тржишних промена, могуће је установити и анализирати корелације између тих промена и начина функционисања *demand-response*-а. Анализе ове природе оператору нуде нове начине сагледавања функционисања система, за разлику од традиционалних, где се фокус ставља на прогнозе потрошње и друге енергетске феномене.

Тржишта електричне енергије постају све више распрострањена, међутим, модели пословне интелигенције за тржишта електричне енергије, као и методологије њиховог развоја, нису лако доступни, нити су довољно развијени. Главни проблем који се јавља при развоју система пословне интелигенције за тржишта електричне енергије је проблем квалитета података [141], где се преко софтверских решења и комплексних правила покушава обезбедити одговарајући квалитет података. Дobar пример система пословне

интелигенције једног тржишта представља Mirabel *smart grid* пројекат [142]. Mirabel је дизајниран да реши проблеме прогнозе производње и потражње, као и максимизације флексибилних понуда у процесу тендеровања. Главни недостатак овог модела представља модел података који је дизајниран са фокусом на специфичне група података, а не фокусирањем на пословне процесе. Модели података који се фокусирају само на податке, а не и на пословне процесе, могу резултовати проблемима при прихватању система, јер добијени резултати анализе често не прате пословне процесе. Додатна потешкоћа у моделовању базираном на подацима су проблеми који се јављају при аналитикама над већим бројем пословних процеса. Упркос недостацима који се тичу модела података, Mirabel систем је способан за рад у реалном времену, и омогућава напредне прогнозе, агрегације и упите [143].



Слика 57. Упрошћена структура модела података за потребе пословне интелигенције

Поред наведених имплементација постоје и примери модела пословне интелигенције који су генерички и који се баве *smart grid* системима [144][79]. Овакви модели обично укључују базне показатеље пословања као и примере примене добрих пракси у *smart grid*

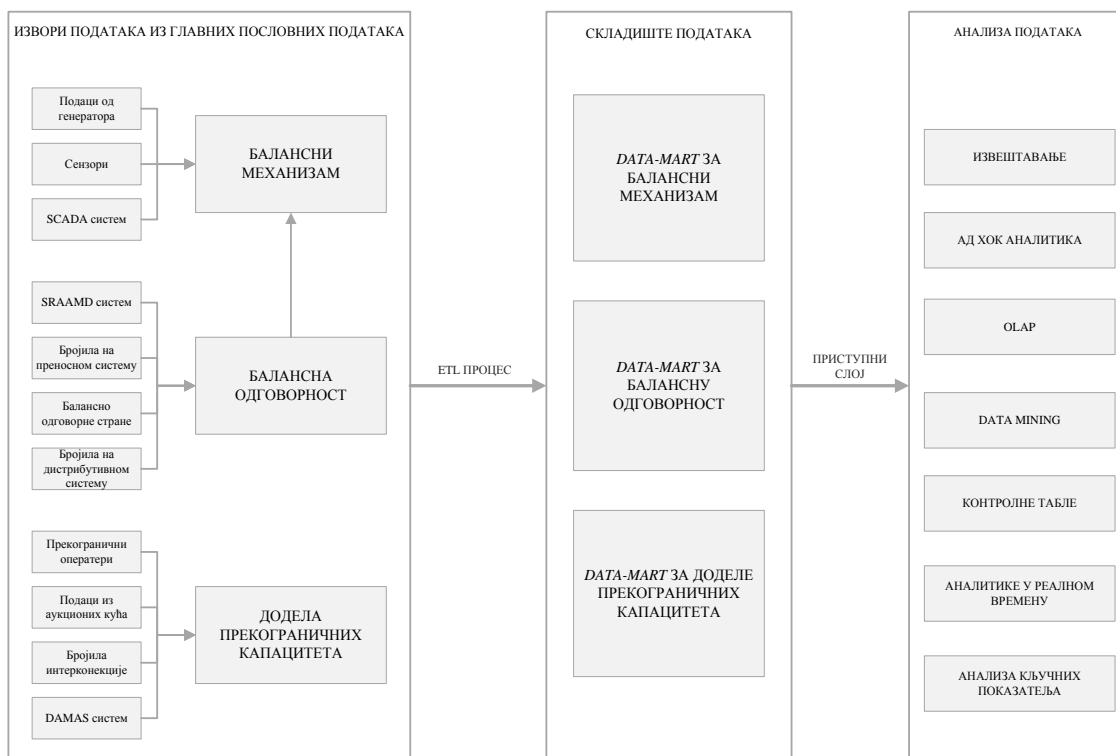
системима. Главни недостатак ових модела је њихова општост и недостатак подршке за специфичне пословне процесе унутар конкретног тржишта електричне енергије. Наведени модели за анализу тржишта електричне енергије, са становишта конкретних учесника, могу понудити ограничене увиде, због ограниченог приступа подацима [145][146]. Због овог ограничења овакви системи нису адекватни за потребе анализе *demand-response* сервиса.

Поред модела пословне интелигенције постоје и примери система надгледања пословања преко кључних показатеља перформанси пословања KPI [147][72]. Интеграцијом ових система са системима за пословну интелигенцију може се максимизирати аналитички потенцијал оба решења.

Због недостатка добрих пракси и реализованих пројеката, имплементација система за пословну интелигенцију енергетских тржишта може представљати изазов. Упоредо са могућим недостатком искуства пројектних тимова, јавља се и проблем честе промене тржишних правила. Висок ниво нестабилности чини процес имплементације оваквог система дуготрајним, са честим променама у обиму пројекта.

За потребе оператора српског тржишта електричне енергије, 2017. године дизајниран је и имплементиран систем пословне интелигенције [148][149][84][79]. Модел имплементираних система развијен је фокусирањем на кључне пословне процесе и актуелна тржишна правила. Поред стандардних тржишних процеса, у овај систем су укључени подаци са паметних бројила, дистрибуција, као и подаци везани за појединачне учеснике на тржишту. Због широког обухвата података омогућена је анализа целокупног ланца вредности, од произвођача до потрошача. Модел је конструисан по Кимбаловој методологији [150], која је општеприхваћена као стандард при моделовању складишта података. Кимбалов приступ одоздо на горе, омогућава лакшу интеграцију разноврсних извора података у веће целине и адекватан ниво квалитета података. Због честих промена у обиму пројекта, имплементација је вршена применом агилних приступа за управљање софтверским пројектима. Упрошћена слика архитектуре решења за пословну интелигенцију српског тржишта и токова података може се видети на слици 58.

Модел података који је креиран око пословних процеса дозвољава интуитивно кретање (*Drill-up* и *Drill-down*) кроз структуре података. Ова лакоћа кретања кроз извештајне структуре омогућава ефикасне агрегације и калкулације над подацима из више пословних процеса.



Слика 58. Архитектура решења за пословну интелигенцију српског тржишта
електричне енергије

Неке од стандардних аналитика, које су подржане моделом а релевантне за анализу *demand-resposne* система су:

Балансна одговорност:

- Обрачун и анализа цене поравнања за одређене обрачунске периоде.
- Обрачуни параметризованих цена, и просечних цена поравнања.
- Анализа пријављених позиција балансно одговорних страна (пријављених интерних/екстерних трансакција, производње и потрошње).
- Анализа измерених података (Производња и потрошња) балансно одговорних страна за сваки обрачуни период као и зону.
- Анализа појединачних тачки примопредаје електричне енергије, по сваком балансно одговорном телу, регији и обрачуном периоду.
- Анализа састава баланских група, примопредајних тачака и понашања индивидуалних чланова.
- Анализа цене поравнања за сваку балансно одговорну страну појединачно.
- Обрачун и анализа прихватљивог одступања за сваку балансно одговорну страну.

Балансни механизам:

- Историјска анализа понуда постављених од стране различитих понуђача услуга на балансном тржишту.
- Анализа ангажоване балансне енергије по типу регулације, обрачунском периоду, понуђачу услуга и индивидуалним ресурсима.

Алокација прекограничних капацитета:

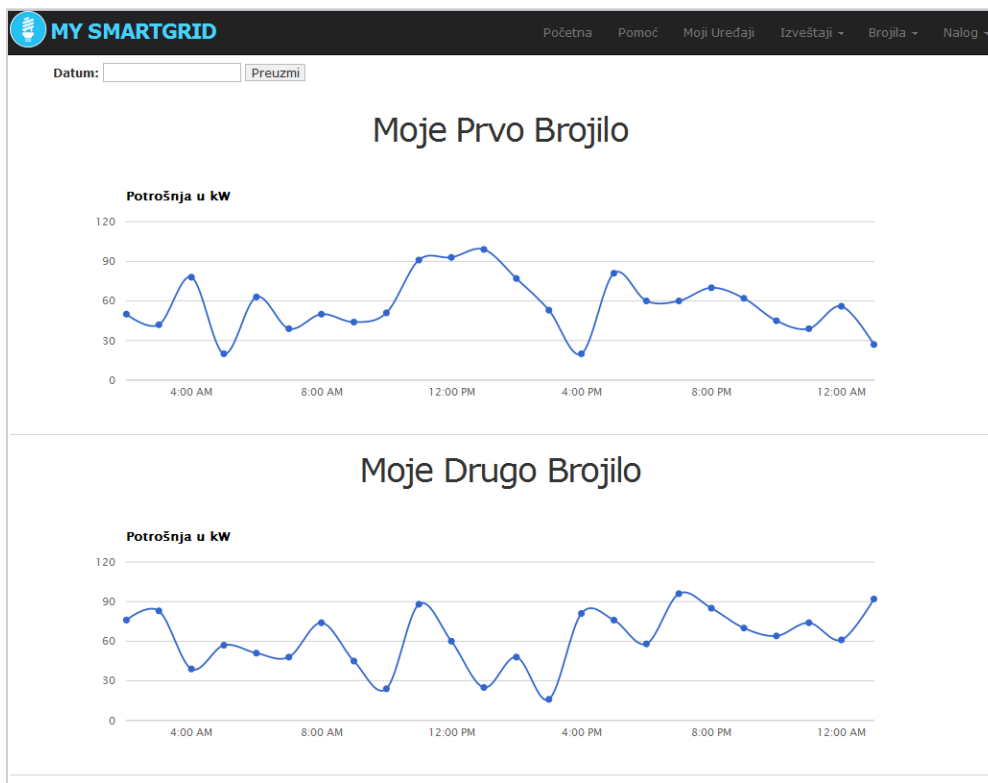
- Анализе доступности прекограничних капацитета по различитим обрачунским периодима и границама.
- Анализа односа између захтеваног и алоцираног капацитета, зависно од времена, граница и учесника на аукцијама.
- Анализа цена аукција на свакој од граница, зависно од смера.
- Анализе аукција појединачних учесника на тржишту, као и историјски преглед њихових резервисаних капацитета.
- Анализе кумулативних прихода за аукције, тип аукције, смер и учесника.
- Управљање загушењима.

Како би се обезбедила основа за анализу утицаја *demand-response* сервиса на тржиште електричне енергије, поред операторске аналитике потребно је направити и аналитички систем за предузећа која се баве агрегацијом. Агрегаторско предузеће је учесник на тржишту и као такво нема приступа детаљним тржишним информацијама. Фокус система пословне интелигенције агрегатора мора бити на аналитици потрошача, остварених уштеда, и ангажовању појединачних уређаја. Поред корисничке аналитике, потребна је и анализа свакодневног рада система. Историјском анализом оперативних података могу се предвидети потрошње као и доступност уређаја за *demand-response* сервисе. Агрегаторски систем пословне интелигенције, поред финансијске и оперативне анализе, мора обезбедити и кориснички систем за извештавање. Овај кориснички систем, у форми портала, нуди упрошћене и агрегиране извештаје о ангажовањима корисничких уређаја, уштедама и индивидуалном утицају компоненти система на стабилност мреже.

Развој система за пословну интелигенцију агрегатора представља знатно лакши подухват у односу на систем пословне интелигенције оператора тржишта. Главна разлика између ова два система огледа се у централизованом карактеру података агрегаторског система. Централизацијом података се избегава потреба за компликованијим процесима екстракције и интеграције података. Због ове олакшавајуће околности, фокус решења за пословну интелигенцију агрегатора може бити на развоју модела података и подршци оперативним пословима и делатностима. Као додатни захтев поставља се рад у реалном времену, због чињенице да свака координирана *demand-response* одлука мора бити

оправдана са финансијске и техничке стране. Податке за одлуку треба у реалном времену да обезбеди систем пословне интелигенције агрегатора.

Пример извештаја о потрошњи по бројилима приказан је на слици 59. На овом извештају приказана је збирна потрошња за свако пријављено бројило током времену.



Слика 59. Извештај о збирној потрошњи бројила

Нацрт извештаја о ангажовању појединачних уређаја може се видети на слици 60. Оба извештаја имају опцију спецификације временског опсега над којим се извештај посматра.



Слика 60. Извештај о ангажовању појединачних уређаја

3.8. Оквир евалуације и имплементације предложеног модела

Како би се ефикасно тестирала валидност предложеног модела електронског пословања потребно је развити прототип решења. Примарна сврха прототипа је *proof of concept demand-response* сервиса који функционишу по регулативи успостављеној у Републици Србији и у складу са тржишним правилима. Након развоја прототипа, потребно је урадити детаљну техничку евалуација решења симулацијом реалних услова рада.

За развој прототипа решења могу се користити доступне хардверске и софтверске компоненте. Потребне хардверске компоненте се могу сврстати у четири основне категорије: кориснички уређаји, микроконтролерска инфраструктура, паметна бројила и серверска инфраструктура.

Комуникација и координација хардверских компоненти решења реализује се коришћењем одговарајућег софтвера и постојеће интернет мрежне инфраструктуре у домаћинствима и предузећима. Софтверске компоненте морају бити у складу са међународним стандардима интероперабилности у паметним електроенергетским мрежама и понудити довољан ниво флексибилности и скалабилности како би подржали велики број потенцијалних корисника. Свакој од хардверских компоненти могуће је

придружити одговарајући софтвер преко кога се омогућавају предвиђене функционалности и ефективан рад у систему.

Паметни IoT кориснички уређаји, који имају могућност повезивања на предвиђен модел, имају као основ комерцијални оквир за развој софтвера, који обично нуди произвођач уређаја и ограничен сет команди које је потребно искористити или прилагодити у софтверу који развија корисник. Микроконтролерска инфраструктура за софтверску основу може имати разне програмске језике. Сходно томе, потребно је ограничити скуп могућих микроконтролера са којима ће се радити како би се постигао прихватљив ниво ефикасности, а задржала флексибилност која се добија већим избором микроконтролера.

Паметна бројила представљају чвориште система и могу садржати сопствене микроконтролере. Због овог разлога, потребна је посебна софтверска подршка и за ове уређаје, а која зависи од произвођача бројила. Паметна бројила у скоро свим случајевима имају уграђени комерцијални софтвер који је затвореног типа, чијим коришћењем се умањује ефикасност развијеног модела.

Серверска инфраструктура мора имати све потребне софтверске сервисе како би се омогућила комуникација са свим спољним актерима, као што су тржишта електричне енергије и берзе. Предвиђен протокол комуникације је TCP/IP, што омогућава RESTful сервисно оријентисану инфраструктуру којом се обезбеђује скалабилност и флексибилност решења.

Евалуација предложеног решења, с обзиром на то да у Републици Србији *demand-response* још не функционише, може се реализовати само на два начина: симулацијом и путем анкете потенцијалних учесника у *demand-response*. Кориснички уређаји, микроконтролери и спољни актери могу бити симулирани и понашати се као интегрални део предложеног система. Упоредо са симулираним уређајима постојаће и физичка серверска инфраструктура која ће служити за координацију свих актера. Измерене перформансе симулираног система користиће се за утврђивање валидности предложеног модела.

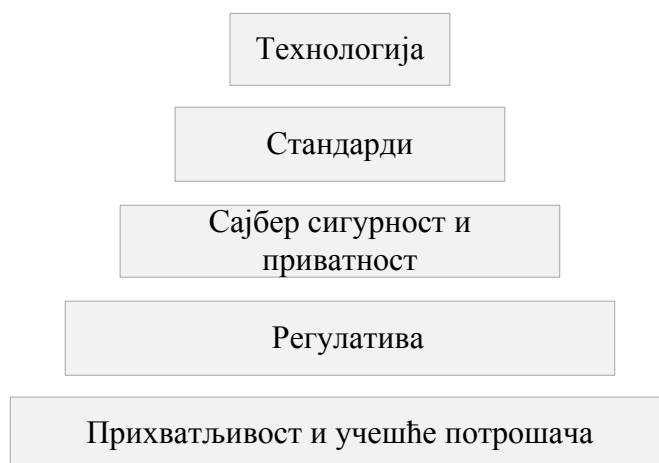
Други начин евалуације предложеног модела, који је комплетно реализован у овој дисертацији, јесте анкетирање потенцијалних корисника како би се испитала спремност за коришћење *demand-response* сервиса по предложеном моделу. Евалуација је вршена над узорком потенцијалних корисника, стандардизованим тестом, где су питања дефинисана тако да се из одговора може утврдити ниво прихватљивости предложеног модела. У складу са резултатима и закључцима, модел се може прилагођавати потенцијалним корисницима.

4. Анализа спремности за учешће у *demand-response* сервисима на српском тржишту електричне енергије

4.1. Теоријски оквир

Глобална потрошња електричне енергије расте и очекује се да у периоду до 2035. порасте за 37% у односу на потрошњу из 2013. године [151]. При томе, резиденцијални сектор користи око 30% глобалне електричне енергије [152][153][154]. Сервиси модерних електроенергетских мрежа потрошачима омогућују бољу информисаност, контролу потрошње електричне енергије, као и учешће на тржишту електричне енергије [155]. За управљање потрошњом електричне енергије користе се DSM (енг. *Demand-Side Management*, DSM)[156][157][158][159][160][161] програми који обухватају две главне активности: *demand-response* и енергетску ефикасност. Како би се омогућило ефективно увођење ових сервиса неопходно је обезбедити спремност потрошача у прихватању нових технологија и учешћа у *smart grid* сервисима [162].

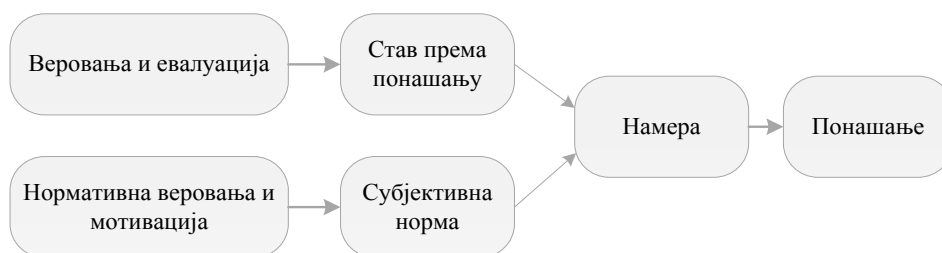
У литератури постоји више приступа за испитивање спремности потрошача за увођење нових технологија и сервиса паметних електроенергетских мрежа. У многим радовима испитивана је спремност потрошача да подрже развој и примену *smart grid* технологија [162][163][164]. Спремност потрошача за прихватање и учешће у развоју *smart grid* технологија представља битан градивни блок *smart grid*-а (слика 61) [162][165][166][167].



Слика 61. Градивни блокови *smart grid*-а [162][168]

Од интереса за развијени модел електронског пословања је испитивање спремности потрошача за учешће у *demand-response* сервисима. Теоријски оквири који се могу користити за испитивање спремности за усвајање технолошких иновација од стране потрошача су:

1. **Theory of Reasoned Action (TRA)**. Теорија разумне акције (слика 62) испитује став и норму као два кључна фактора која дефинишу понашање потрошача. Фактори веровања и евалуације углавном утичу на став, док нормативна веровања и мотивација формирају предметну норму. Према TRA, индивидуално понашање је одређено намером особе да то понашање изведе. Намера је резултат интеграције ставова према понашању [169][170]. У пракси, спољни фактори као што су животна средина, време, ограничена способност итд. могу мењати намере потрошача и утицати на њихово понашање. Ограничење TRA модела представља могућност противречности између ставова и норме.



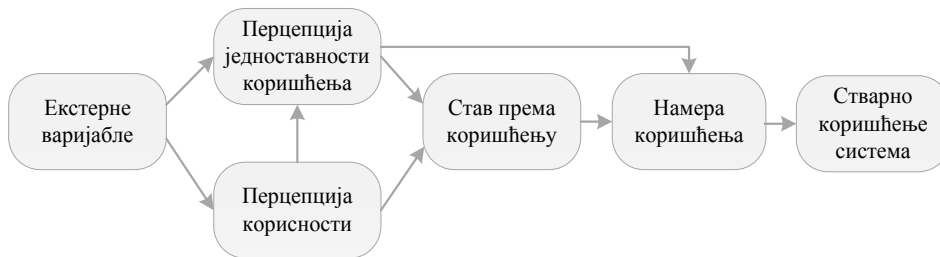
Слика 62. Теорија разумне акције [162]

2. **Theory of Planned Behavior (TPB)** (слика 63). Теорија планираног понашања проширује теорију разумне акције, узимајући у обзир фактор веровања. Овај фактор прави везу између поседовања основних ресурса и обављања понашања [170][171][172]. У [173] TPB се примењује за предвиђање понашања потрошача при усвајању *smart grid*-а, где је отпор потрошача ка променама додатна варијабла понашања.

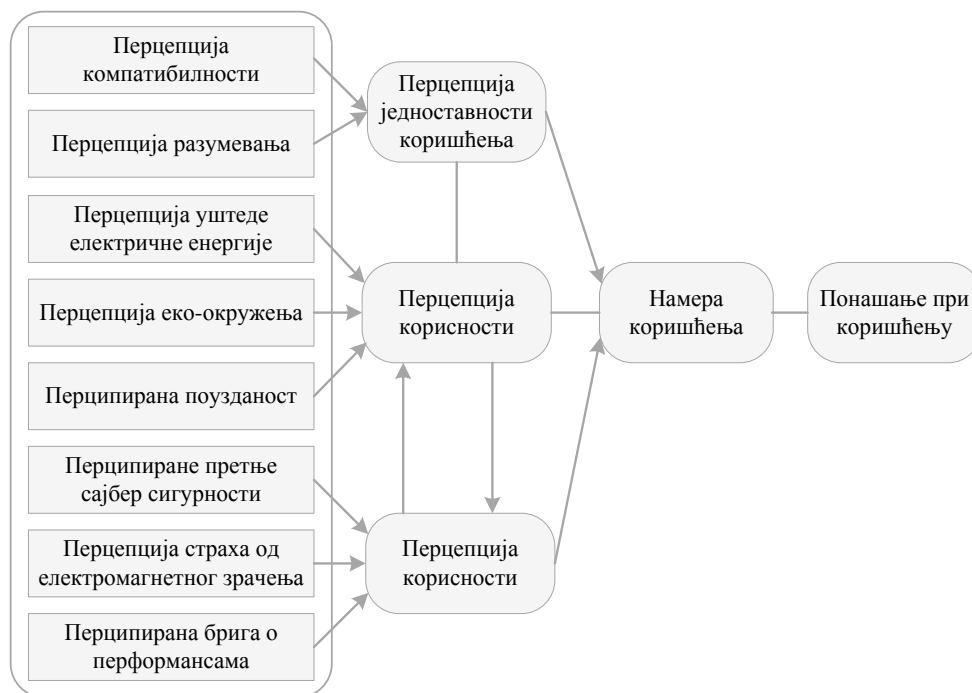


Слика 63. Теорија планираног понашања [162]

3. **Technology Acceptance Model (TAM)** (слика 64). Модел прихватања технологије дефинише се као степен уверења да ће се одређена технологија користити за постизање циља [165] [174]. Да би се TAM модел применио за анализу прихватања *smart grid* сервиса, потребно је дефинисати спољне променљиве које утичу на њихово прихватање (слика 65). Три спољне варијабле користе се као утицаји на зависну варијаблу прихватања нових сервиса: штедња електричне енергије, еко-окружење и поузданост [174][175][176].

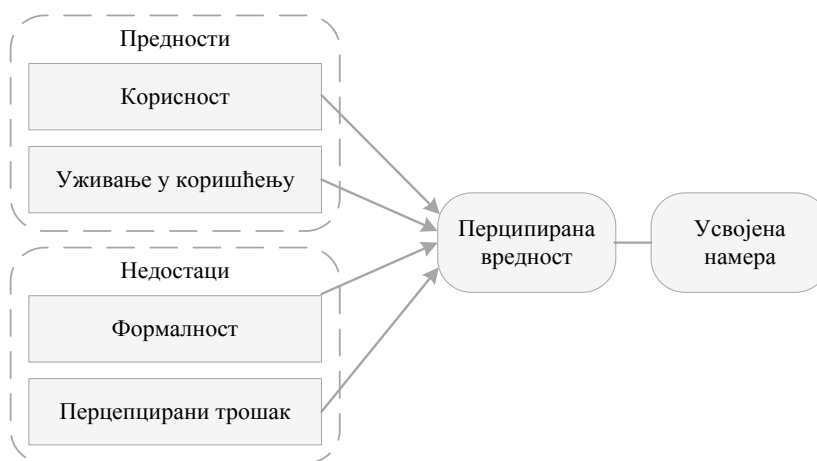


Слика 64. Модел прихватања технологије [162]



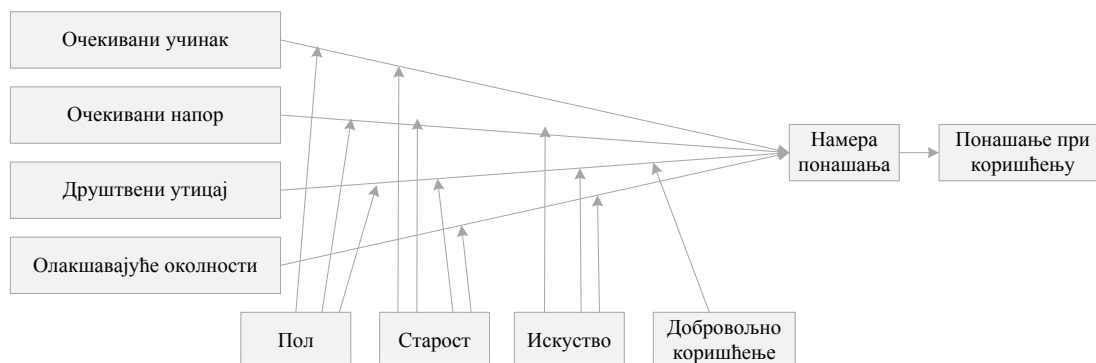
Слика 65. Модел прихватања технологије са екстерним варијаблама [162]

4. **Value-based Adoption Model (VAM)**. Модел прихватљивости заснован на вредности [177] ослања се на анализу утицаја предности и недостатака разматране технологије на перцепцију њене вредности (слика 66). Предности укључују корисност и уживање, док недостаци укључују техничке проблеме и перципирани трошак [178][179]. За примену овог модела у испитивању спремности потрошача за усвајање *smart grid* сервиса неопходно је пружити им потребне информације о потенцијалним уштедама, профиту, утицају на животну средину и другим предностима примене ових сервиса [180] [181][182][183][171].



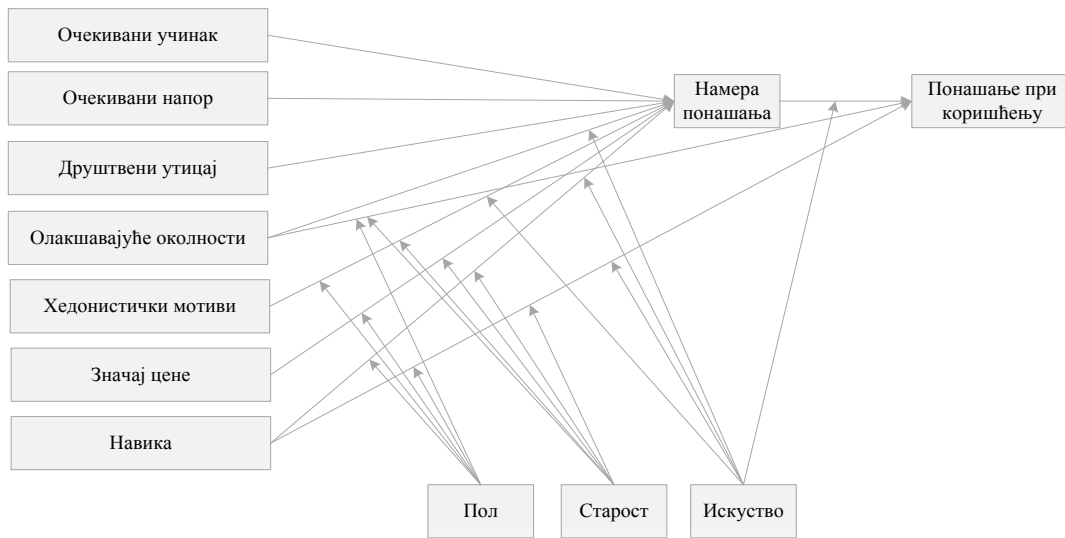
Слика 66. Модел прихватљивости заснован на вредности [162]

5. **Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)**. Униформна теорија прихватања и употребе технологије разматра утицај четири фактора на намеру за коришћење и стварно коришћење технологије: очекивани учинак, очекивани напор, друштвени утицај и олакшавајуће услове (слика 67) [184]. Према овој теорији, очекивани учинак, очекивани напор и друштвени утицај утичу на намеру потрошача да користи технологију, док намера понашања и олакшавајући услови утичу на употребу технологије.



Слика 67. Униформна теорија прихватања и употребе технологије [185]

6. **UTAUT 2.** UTAUT се може допунити и додатним факторима као што су [184]: хедонистички мотиви, цена и навике потрошача (слика 68).



Слика 68. UTAUT2 [46]

У ширем друштвеном контексту димензије које одређују прихватљивост *smart grid* технологија су: 1) друштвено-политичка прихватљивост, 2) друштвена прихватљивост и 3) тржишна прихватљивост. Теорије усвајања и дифузије технологије покушавају да објасне како и зашто се појављују иновације, ступају у употребу и постају уобичајене. Процес одлучивања о иновацијама укључује пет фаза [186][187]:

1. **Знање.** Потрошачи добијају знање о иновацијама и њиховој примени.
2. **Усвајање.** Потрошачи формирају позитиван или негативан став према иновацијама.
3. **Одлучивање.** Потрошачи доносе одлуку о усвајању или одбијању иновација.
4. **Имплементација.** Потрошачи користе иновације.
5. **Потврда.** Потрошач тражи подршку у прихватању иновација.

Технолошка спремност (енг. *Technology readiness*, TR) је општи показатељ за процену спремности усвајања технологије [188]. Указује на зрелост технологије за примену у системима и пројектима. Ниво спремности за технологију (енг. *Technology readiness level*, TRL) је стандард за мерење и процену степена технолошке спремности који обухвата девет нивоа:

1. Опажени основни принципи.
2. Формулисан концепт технологије и/или апликације.
3. Аналитичка и експериментална критична функција.

4. Технологија тестирана у лабораторијском окружењу.
5. Технологија тестирана у реалном окружењу.
6. Модел система или демонстрација прототипа на терену.
7. Прототип система приказан у реалном окружењу.
8. Завршен и тестиран систем.
9. Успешно реализован систем.

Успех у прихватању нових технологија на нивоу државе мери се спремношћу њених грађана, предузећа и институција да се прилагоде усвајању нових технологија, иновација и истраживања [189]. Процене технолошке спремности врше се анализом основних фактора: инфраструктуре, институција и људског капитала [163]. Поред технолошке спремности мере се: способност грађана на иновације, квалитет научних институција, улагања у истраживање и сарадња универзитета и индустрије у области истраживања и развоја.

Као основни фактори за анализу спремности за увођење *smart grid* технологија издвајају се [189]: регулатива, пружалац услуга, потражња за енергијом, инфраструктура, доступност природних извора, свест потрошача, инвеститори, технолошка адаптивност и дифузија, техничке и комерцијалне вештине и макроекономско окружење.

Схватање ставова грађана о усвајању нових технологија битно је за имплементаторе *smart grid* система при развијању стратегија [190][164][191]. Приликом испитивања ставова потрошача о усвајању *smart grid* технологија, често се испитују: перцепција према *smart grid* технологијама, примена *smart grid*-а у домаћинствима [192][193][194], ниво знања и интереса грађана о обновљивим изворима енергије [195][196][197] и ставови о заштити животне средине.

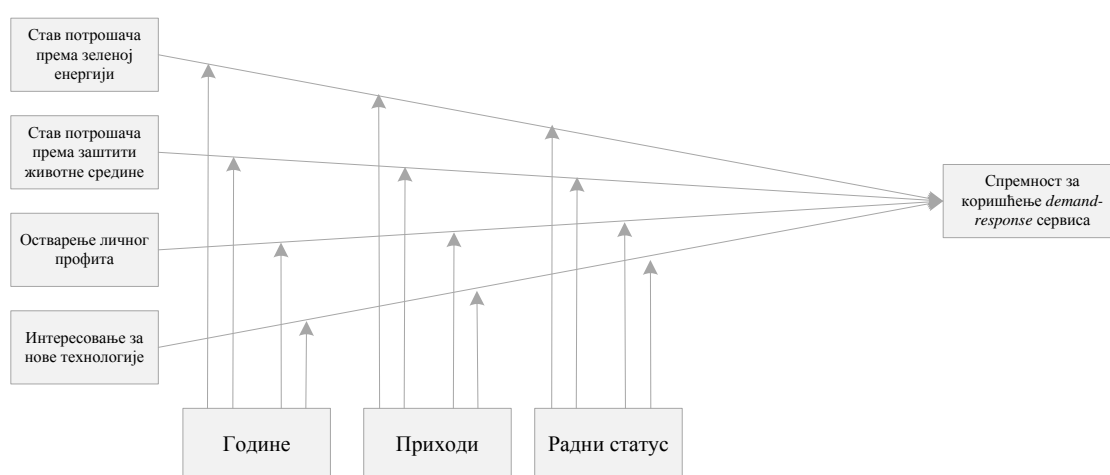
4.2. Анализа спремности потрошача за учешће на српском тржишту електричне енергије

Испитивање мотива грађана за коришћење *smart grid* сервиса на српском тржишту електричне енергије реализовано је по угледу на UTAUT2 модел [184]. С обзиром на то да понашање корисника није могуће испитати јер пројектовани сервиси још увек нису имплементирани, као зависна варијабла изабрана је „Спремност за коришћење *demand-response* сервиса“, по угледу на *Behavioral intention* варијаблу UTAUT2 модела.

Независне варијабле изабране су по аналогији са UTAUT и UTAUT2 моделима:

- Став према зеленој енергији, аналогно са варијаблом „друштвени утицај“ из UTAUT2 модела.
- Став према заштити животне средине, аналогно са варијаблом „друштвени утицај“ из UTAUT2 модела.
- Лични профит, аналогно са варијаблом „значај цене“ из UTAUT2 модела.
- Интересовање за нове технологије, аналогно са варијаблом „хедонистички мотиви“ из UTAUT2 модела.

Утицај сваке варијабле испитује се у зависности од година, висине прихода и радног статуса испитаника (слика 69).



Слика 69. Модел за испитивање спремности за коришћење *demand-response* сервиса

Постављене су следеће хипотезе:

X1.1: Став потрошача према зеленој енергији утиче на њихову спремност за коришћење *demand-response* сервиса зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

X1.2: Став потрошача према заштити животне средине утиче на њихову спремност за коришћење *demand-response* сервиса зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

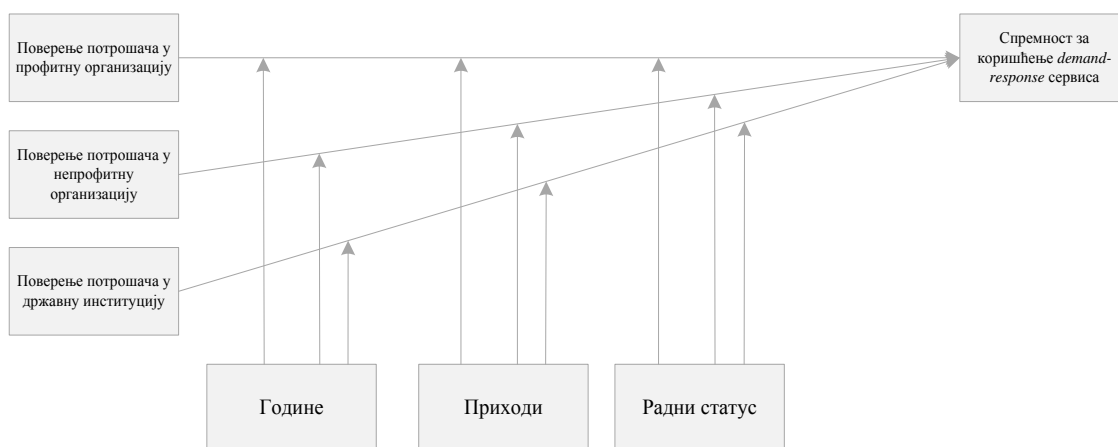
X1.3: Могућност остварења личног профита утиче на спремност потрошача за коришћење *demand-response* сервиса зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

X1.4: Интересовање за нове технологије утиче на спремност потрошача за коришћење *demand-response* сервиса зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

Модел обухвата и испитивање поверења у оператора тржишта. Приликом евалуације развијеног модела за учешће потрошача на српском тржишту електричне енергије разматрају се три могућности за организацију оператора сервиса:

- Оператор организован као државна институција.
- Оператор организован као профитна организација.
- Оператор организован као непрофитна организација.

У евалуацији се испитује у којој мери спремност потрошача за коришћење *demand-response* сервиса зависи од поверења које потрошачи имају у сваки од наведених типова организације оператора (слика 70).



Слика 70. Модел за испитивање утицаја поверења у оператора на спремност за коришћење *demand-response* сервиса

Постављене су следеће хипотезе:

Х2.1: Поверење потрошача у оператора државну институцију утиче на њихову намеру да користе *demand-response* сервисе зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

Х2.2: Поверење потрошача у оператора профитну организацију утиче на њихову намеру да користе *demand-response* сервисе зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

Х2.3: Поверење потрошача у оператора непрофитну организацију утиче на њихову намеру да користе *demand-response* сервисе зависно од њихових година, прихода и радног статуса.

4.2.1. Инструменти

За прикупљање података коришћена је метода анкетирања. Подаци су прикупљени коришћењем упитника. Упитник је садржао 15 демографских питања и 25 питања за мерење спремности за учешће потрошача у *demand-response* сервисима. На почетку упитника, испитаницима је дат текст са описом *demand-response* сервиса на која се питања односе.

У табели 12 приказан је списак индикатора који се користе за анализу спремности потрошача за коришћење *demand-response* сервиса.

Табела 12. Индикатори за испитивање намере спремности потрошача за коришћење *demand-response* сервиса

Индикатор	Ср.Вр.	Стд. Дев.	Excess Kurtosis	Skewness
Став према зеленој енергији:				
GE1. У којој мери бисте били заинтересовани да користите <i>demand-response</i> сервисе ако бисте тиме подстакли развој зелене енергије?	4,127	0,969	0,599	-0,992
GE2. У којој мери бисте били заинтересовани да Вам дистрибутер електричне енергије у летњем периоду накратко искључи клима-уређај уколико бисте тиме подстакли развој зелене енергије?	3,615	1,312	-0,492	-0,773
Став према заштити животне средине:				
E1. У којој мери бисте били заинтересовани да користите <i>demand-response</i> сервисе ако бисте тиме подстакли очување животне средине?	4,332	0,892	2,026	-1,437
E2. У којој мери бисте били заинтересовани да Вам дистрибутер електричне енергије у летњем периоду накратко искључи клима-уређај уколико бисте тиме подстакли очување животне средине?	3,570	1,340	-0,667	-0,670
Лични профит:				
P1. У којој мери бисте били заинтересовани да користите <i>demand-response</i> сервисе ако бисте тиме остварили лични профит у виду смањења рачуна за струју за 10–50 динара?	3,316	1,421	-1,136	-0,329
P2. У којој мери бисте били заинтересовани да Вам дистрибутер електричне енергије у летњем периоду накратко искључи клима-уређај уколико бисте остварили лични профит у виду смањења рачуна за струју за 10–50 динара?	2,746	1,482	-1,358	0,209
P3. У којој мери бисте били заинтересовани да Вам дистрибутер електричне енергије у летњем периоду накратко искључи клима-уређај уколико бисте добили купон којим се остварује попуст при куповини у супермаркету?	2,885	1,475	-1,338	0,107

Интересовање за нове технологије:				
IT1. У којој мери бисте били заинтересовани да користите <i>demand-response</i> сервисе ако бисте тиме добили могућност да испробате модерне технологије?	3,824	1,158	-0,014	-0,829
Спремност потрошача за коришћење <i>demand-response</i> сервиса:				
BI1. Намеравам да користим <i>demand-response</i> сервисе када постану доступни у Србији.	3,889	1,083	0,081	-0,792

Индикатори за испитивање поверења у оператора тржишта приказани су у табели 13.

Табела 13. Индикатори за испитивање поверења у оператора тржишта

Индикатор	Ср.Вр.	Стд. Дев.	Excess Kurtosis	Skewness
Профитна организација:				
PO1. Имам поверење да ме у <i>demand-response</i> сервисима заступа профитна организација.	3,020	1,226	-0,906	-0,160
Непрофитна организација:				
NP1. Имам поверење да ме у <i>demand-response</i> сервисима заступа непрофитна организација.	2,844	1,225	-0,865	-0,049
Државна организација:				
GO1. Имам поверење да ме у <i>demand-response</i> сервисима заступа профитна државна организација.	3,066	1,395	-1,208	-0,099
Спремност потрошача за коришћење <i>demand-response</i> сервиса:				
BI1. Намеравам да користим <i>demand-response</i> сервисе када постану доступни у Србији.	3,889	1,083	0,081	-0,792

Вредности *kurtosis* и *skewness* параметара индикатора за оба дела истраживања су за већину индикатора у границама између -1 и +1. Индикатори за које вредности ова два параметра излазе ван овог опсега показују мањи степен одступања од нормалне расподеле. С обзиром на то да су одступања незнатна, сви индикатори су задржани за даљу анализу.

4.2.2. Узорак

У истраживању је учествовало 244 испитаника. Демографски подаци приказани су у табели 14.

Табела 14. Демографски подаци испитаника

	Варијабла	Вредности	Фреквенција	%
Општи демографски подаци	Године	< 20	0	0%
		21 - 30	94	39%
		31 - 40	39	16%
		41 - 50	44	18%
		> 50	67	27%
	Пол	Мушки	104	42,6%
		Женски	140	57,4%
	Ниво образовања	Основна школа	0	0
		Средња школа	137	56%
		Виша школа	21	9%
		Високо образовање	63	26%
		Мастер/Магистратура	17	7%
		Докторат	5	2%
	Радни статус	Запослен/а	136	56%
		Незапослен/а	3	1%
		Пензионер	20	8%
		Студент	82	34%
	Приходи	до 30.000	25	10%
		30.000-60.000	85	35%
преко 60.000		41	17%	
не желим да се изјасним		93	38%	
Потрошња електричне енергије	Да ли редовно плаћате рачуне за струју?	Да	230	94%
		Не	13	6%
	Да ли водите рачуна о потрошњи електричне енергије?	Да	194	79,5%
		Не	49	20%
Ставови према заштити животне средине и зеленој енергији	У којој мери подржавате развој и коришћење зелених извора енергије?	5	153	63%
		4	50	21%
		3	31	13%
		2	2	1%
		1	5	2%
	У којој мери подржавате очување животне средине?	5	187	77%
		4	40	16%
		3	17	7%
		2	0	0%
		1	0	0%

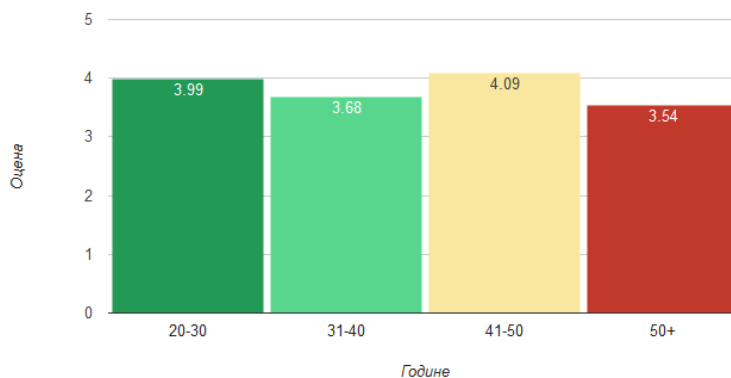
4.2.3. Анализа мотива за учешће у *demand-response* сервисима

Спремност потрошача за учешће у *demand-response* сервисима у зависности од појединих мотива приказана је у табели 15. Резултати показују да испитаници као најзначајнији издвајају став према очувању животне средине, који има највећу оцену (4,33) и најмању стандардну девијацију (0,89). Други мотив по значају везан је за став према зеленој енергији, следи могућност испробавања нових технологија, док је лични профит оцењен као најмање значајан мотив за учешће у *demand-response* сервисима.

Табела 15. Мотиви за коришћење *demand-response* сервиса

Мотив	5	4	3	2	1	Ср.Вр.	Ст.Дев.
Став према зеленој енергији	109	71	51	7	5	4,12	0,97
Став према очувању животне средине	133	69	30	5	4	4,33	0,89
Лични профит	69	42	62	25	39	3,32	1,41
Интересовање за нове технологије	85	67	57	14	12	3,84	1,13

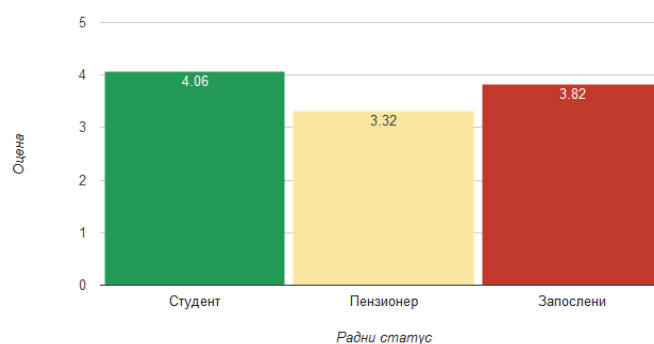
Анализа мотива за учешће у *demand-response* сервисима у зависности од година испитаника показује да између старосних група не постоје статистички значајне разлике када су у питању ставови везани за подстицање очувања животне средине ($F(3,239)=1,084$, $p=0,356$), подстицање развоја зелене енергије ($F(3,239)=1,393$, $p=0,246$) и лични профит ($F(3,239)=2,164$, $p=0,093$). Статистички значајна разлика између старосних група постоји када је у питању интересовање за нове технологије ($F(3,239)=3,881$, $p=0,01$). *Post hoc* анализа указује да постоји статистички значајна разлика између ставова старосних група 21-30 и 50+, као и 41-50 и 50+. Са слике 71 може се видети да су за нове технологије више заинтересовани корисници у старосним групама 21-30 и 41-50 година.



Слика 71. Оцена утицаја интересовања за нове технологије по старосним групама

Анализа резултата по групама прихода показује да не постоје статистички значајне разлике између група ни по једном испитиваном мотиву за учешће у *demand-response* сервисима.

Анализа резултата по радном статусу показује да постоји статистички значајна разлика између група у погледу интересовања за нове технологије ($F(2,238)=4,941$, $p=0,008$). *Post hoc* анализа указује да не постоји статистички значајна разлика између ставова студената и запослених, али постоји између ставова студената и пензионера, и између запослених и пензионера. С обзиром на мали број незапослених у узорку, они су изузети из овог дела анализе. Слика 72 показује да су за нове технологије највише заинтересовани студенти.



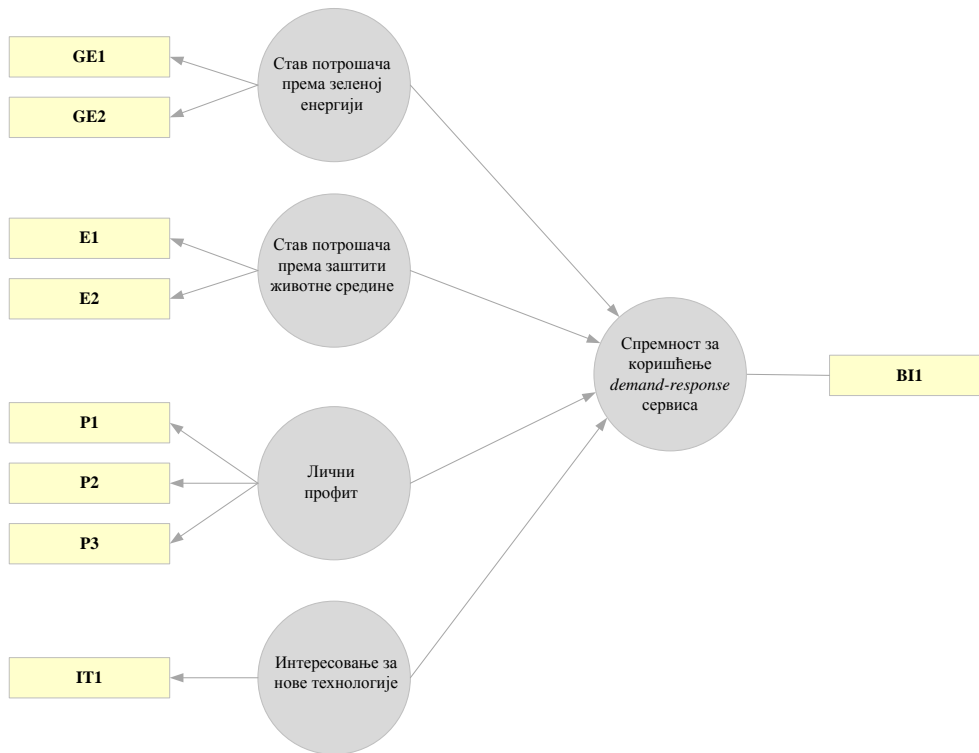
Слика 72. Оцена утицаја интересовања за нове технологије по радном статусу

За деатљније испитивање узрочно-последичних веза између променљивих којима се мере мотиви за учешће потрошача у *demand-response* сервисима коришћена је PLS-SEM метода. Циљ примене ове методе је да се развије комплексни модел који у задовољавајућој мери идентификује везе и објашњава варијансе разматраних варијабли [198][199]. Предност примене ове методе је што се не захтева одређена дистрибуција података.

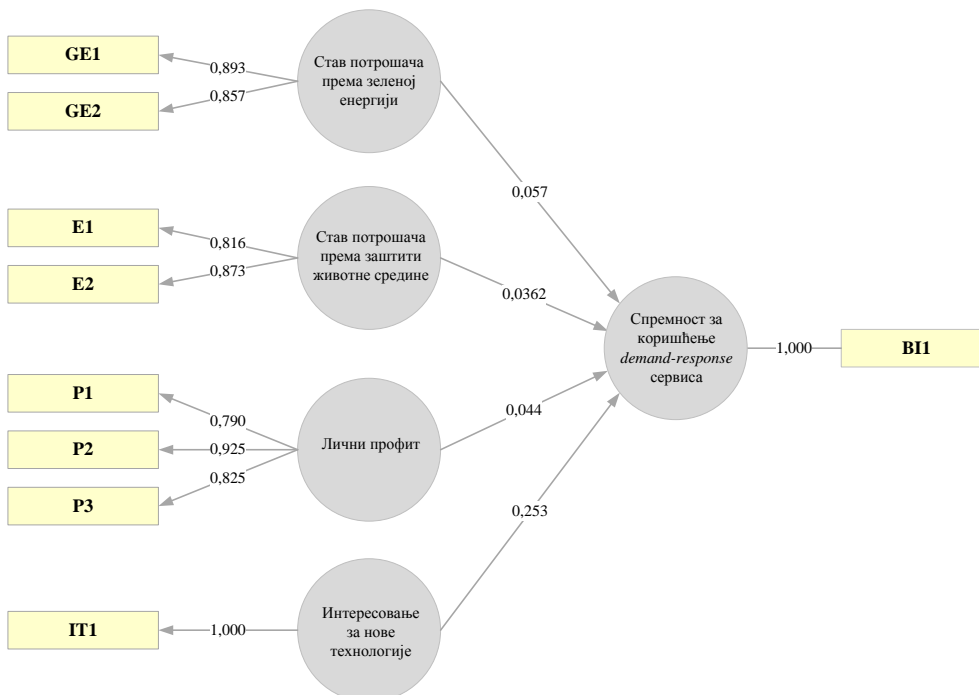
Евалуација је извршена у две фазе, коришћењем препорука датих у [198][199][200][201][202][203]: евалуација модела мерења латентних варијабли (енг. *measurement model, outer model*) и евалуација структурног модела (енг. *structure model, inner model*). Модел мерења латентних варијабли обухвата везе између експериментално прикупљених података и променљивих које се посматрају у моделу. Структурним моделом анализирани су везе које се успостављају између варијабли.

Анализа је извршена коришћењем SmartPLS 3.0 [204] софтверског алата. Међу прикупљеним подацима није било сумњивих шаблона у одговорима, у смислу неконзистентних одговора.

Слика 73 приказује структурни и модел мерења латентних варијабли. Резултати примене PLS алгоритма приказани су на слици 74. Оцена поузданости и валидности модела мерења латентних варијабли приказана је у табели 16.



Слика 73. Структурни и модел мерења латентних варијабли



Слика 74. Резултати примене PLS алгоритма

Табела 16. Оцена валидности модела мерења латентних варијабли

Варијабла	Индикатор	Loadings	Composite reliability	AVE
Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	BI1	1,000	1,000	1,000
Став према зеленој енергији	GE1	0,893	0,867	0,765
	GE2	0,857		
Став према очувању животне средине	E1	0,816	0,833	0,715
	E2	0,873		
Лични профит	P1	0,790	0,885	0,720
	P2	0,925		
	P3	0,825		
Интересовање за нове технологије	IT1	1,000	1,000	1,000

Уобичајено се у литератури сматра прихватљивим уколико варијабла објашњава најмање 50% варијансе индикатора, тј. уколико је вредност параметра *loading* већа од квадратног корена допуштене вредности. Квадратни корен од 0,5 износи око 0,708, а у табели се уочава да су вредности параметра *loading* изнад 0,708 за све посматране индикаторе.

Постојање позитивне корелације између индикатора који описују једну варијаблу оцењује се помоћу AVE (*Average Variance Extracted*) параметара. Резултати у табели 16 показују да су све вредности изнад препоручене вредности од 0,5 [198].

Параметар композитна поузданост (енг. *composite reliability*) користи се за оцену интерне конзистентности уместо Кронбаховог алфа коефицијената [198][199][201]. Вредности између 0,70 и 0,95 сматрају се задовољавајућим. Из табеле 16 се види да све вредности припадају овом интервалу, осим вредности за варијабле које се оцењују само једним индикатором, где ова вредност износи 1.

Мера у којој се варијабле у моделу међусобно разликују оцењена је коришћењем *cross loadings* параметра приказаног у табели 17 [198]. Може се уочити да су вредности индикатора за сваку од варијабли веће од вредности које су повезане са другим варијаблама. Такође, испитан је и *Fornell-Larcker* критеријум валидности модела [205] који пореди AVE вредности са корелацијом варијабли. Матрица корелација у табели 18 приказује да је валидност постигнута за све варијабле, осим за Став према зеленој енергији и Став према очувању животне средине. С обзиром на то да је разлика мала (приближно 0,01), ово се може сматрати прихватљивим.

Табела 17. Оцена валидности модела – *cross loadings* вредности

	Интересовање за нове технологије	Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	Став према зеленој енергији	Лични профит	Став према очувању животне средине
В11	0,422	1,000	0,485	0,331	0,518
Е1	0,386	0,399	0,743	0,228	0,816
Е2	0,223	0,473	0,756	0,419	0,873
ГЕ1	0,381	0,451	0,893	0,249	0,747
ГЕ2	0,239	0,394	0,857	0,424	0,808
ГТ1	1,000	0,422	0,359	0,486	0,351
Р1	0,532	0,254	0,223	0,790	0,224
Р2	0,365	0,312	0,336	0,925	0,367
Р3	0,360	0,272	0,398	0,825	0,398

Табела 18. Оцена валидности модела – *Fornell-Larcker* критеријум

	Интересовање за нове технологије	Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	Став према зеленој енергији	Лични профит	Став према очувању животне средине
Интересовање за нове технологије	1,000				
Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	0,422	1,000			
Став према зеленој енергији	0,359	0,485	0,875		
Лични профит	0,486	0,331	0,378	0,848	
Став према очувању животне средине	0,351	0,518	0,885	0,392	0,845

Следећи корак у анализи обухватио је оцену структурног модела. Оцењена је колинеарност коришћењем VIF (*variance inflation factor*) фактора. Све добијене вредности су испод пет, што указује да нема колинеарности варијабли (табела 19) [198].

Табела 19. VIF вредности

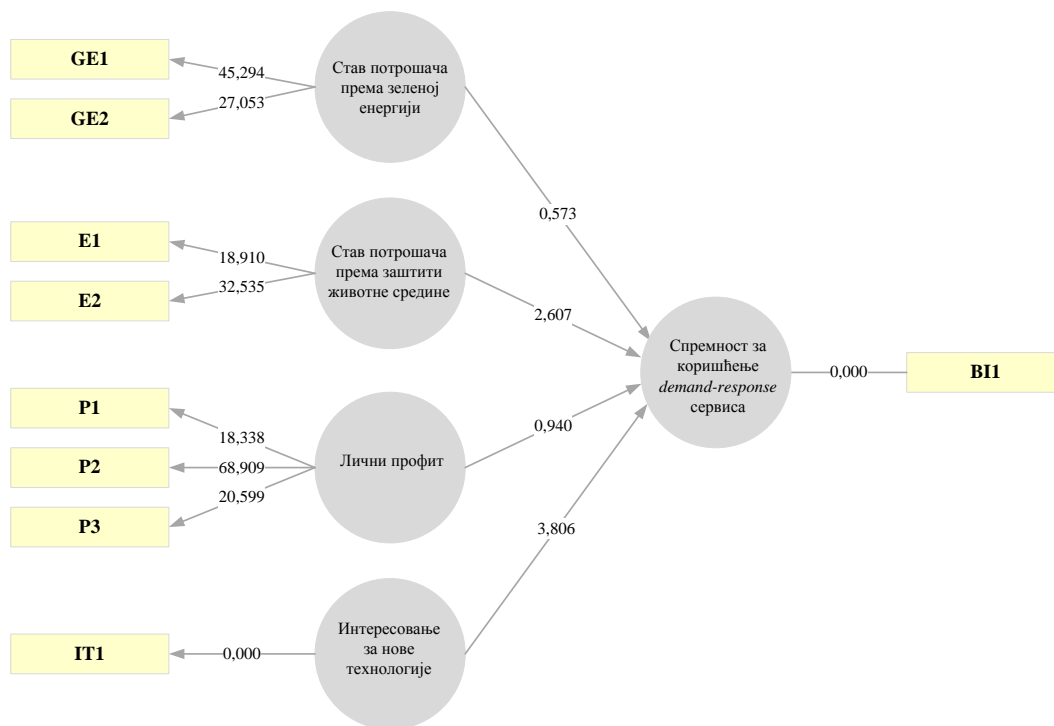
	Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса
Интересовање за нове технологије	1,376
Став према зеленој енергији	4,691
Лични профит	1,414
Став према очувању животне средине	4,715

Коефицијент одређености (R^2) коришћен је за оцену предиктивне тачности модела. Добијена вредност износи 0,337, што се сматра прихватљивим у истраживањима везаним за понашање корисника. Даља оцена предиктивне тачности модела реализована је коришћењем *blindfolding* технике и рачунањем Q^2 вредности, која износи 0,303. С обзиром на то да се за моделе чија је Q^2 вредност 0,35, или већа, сматра да имају високу предиктивну тачност, може се закључити да разматрани модел има тачност која је умерена, али близу високе вредности.

Везе између разматраних варијабли анализирани су на основу вредности коефицијената путање (енг. *path coefficient*) структурног модела. Вредности које су близу +1 означавају јаку позитивну везу и скоро увек су статистички значајне. Уколико је вредност близу 0, може се закључити да утицај не постоји, док вредности близу -1 означавају јаке негативне везе. Са слике 75 може се закључити да став према очувању животне средине и интересовање за нове технологије имају утицај на спремност за коришћење *demand-response* сервиса, док лични профит и став према зеленој енергији скоро да немају утицаја. Детаљнија анализа значајности урађена је методом *bootstrapping*-а са 5.000 узорака и значајности од 5%. Резултати су приказани у табели 20. Може се уочити да најјачи утицај на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса има Став према очувању животне средине ($\beta=0,362$, $T>1,96$), а затим Интересовање за нове технологије ($\beta=0,253$, $T>1,96$). Утицај Личног профита и Става према зеленој енергији на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса није статистички значајан.

Табела 20. Тестирање хипотеза

	Оригинални узорак	Ср.Вр.	Ст.Дев.	T статистика	Значајност
Интересовање за нове технологије → Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	0,253	0,250	0,067	3,806	0,000
Став према зеленој енергији → Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	0,057	0,129	0,099	0,573	0,567
Лични профит → Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	0,044	0,066	0,047	0,940	0,347
Став према очувању животне средине → Спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	0,362	0,349	0,139	2,607	0,009



Слика 75. Резултати *Bootstrapping*-а

Анализа по појединим демографским карактеристикама указује да постоје следеће статистички значајне везе:

- За старосну групу 31–40 година постоји значајност утицаја променљиве Лични профит на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,358$, $T >1,96$).
- За старосну групу 41–50 година постоји значајност утицаја променљиве Интересовање за нове технологије на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,289$, $T >1,96$).
- За старосну групу 50+ постоји значајност утицаја променљиве Став према очувању животне средине на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,625$, $T >1,96$).
- За запослене испитанике постоји значајност утицаја променљивих Интересовање за нове технологије ($\beta=0,247$, $T >1,96$) и Став према очувању животне средине ($\beta=0,348$, $T >1,96$) на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса.
- За испитанике са приходима од 30.000–60.000 постоји значајност утицаја променљивих Интересовање за нове технологије ($\beta=0,170$, $T >1,96$), Лични профит ($\beta=0,282$, $T >1,96$) и Став према очувању животне средине ($\beta=0,628$, $T >1,96$) на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса.

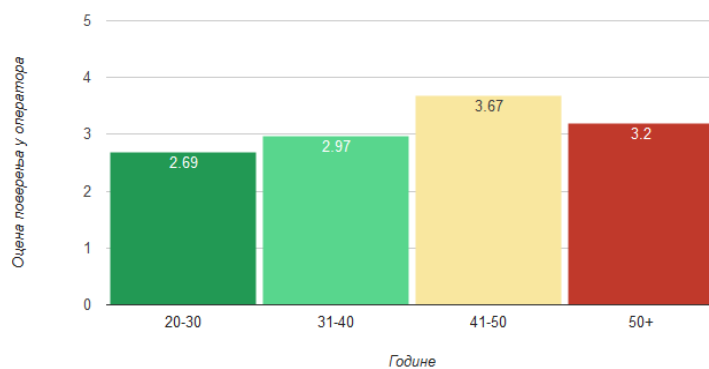
4.2.4. Анализа поверења у оператора тржишта

Став испитаника у погледу поверења у различите типове оператора приказан је у табели 21. Резултати указују да испитаници имају највеће поверење уколико је оператор државна институција (средња оцена 3,07) или профитна организација (средња оцена 3,02). Најмање поверење испитаника је у оператора који је организован као непрофитна организација (средња оцена 2,83).

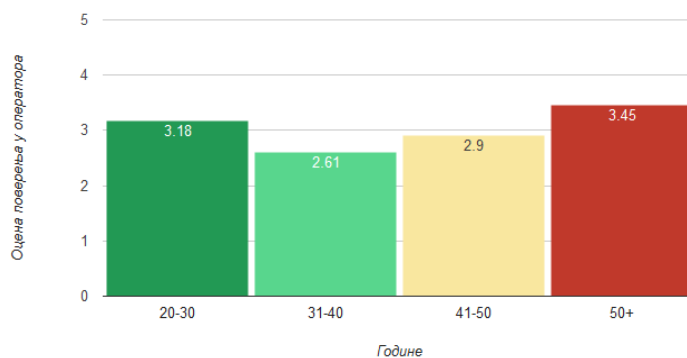
Табела 21. Опште поверење у оператора *demand-response* сервиса

Оператор	5	4	3	2	1	Ср.Вр.	Ст.Дев.
Државна институција	50	49	52	23	28	3,07	1,42
Непрофитна организација	23	49	74	35	49	2,83	1,26
Профитна организација	28	65	62	42	37	3,02	1,25

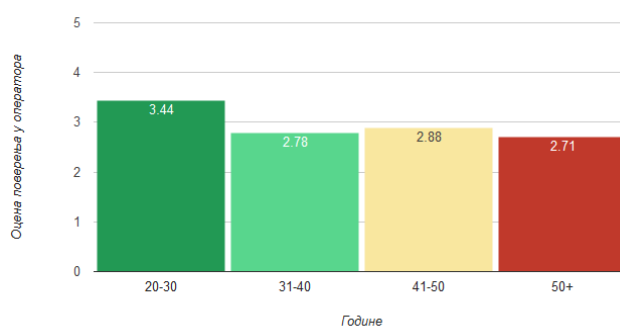
Анализа поверења у оператора указује да између испитаника у различитим старосним групама постоје статистички значајне разлике у ставовима који се тичу поверења у државну институцију ($F(3,239)=4,868$, $p=0,003$), поверења у непрофитну организацију ($F(3,239)=4,702$, $p=0,003$) и поверења у профитну организацију ($F(3,239)=5,818$, $p=0,001$). *Post hoc* анализа указује да постоји статистички значајна разлика између ставова према државној институцији између старосних група 21–30 и 41–50, 21–30 и 50+, 31–40 и 41–50, и 41–50 и 50+. Статистички значајна разлика у ставовима према непрофитној организацији постоји у ставовима између старосних група 21–30 и 31–40, 21–30 и 50+. По питању поверења у профитну организацију, постоји статистички значајна разлика између ставова старосне групе 21–30 и свих осталих старосних група. Слике 76, 77 и 78 приказују расподеле оцена поверења у државну институцију, непрофитну и профитну организацију по годинама испитаника. Уочава се да старије старосне групе имају више поверења уколико је оператор организован као државна институција, док најмлађи испитаници највише поверења имају ако је оператор организован као профитна или непрофитна организација.



Слика 76. Поверење у оператора тржишта државну институцију – расподела по годинама



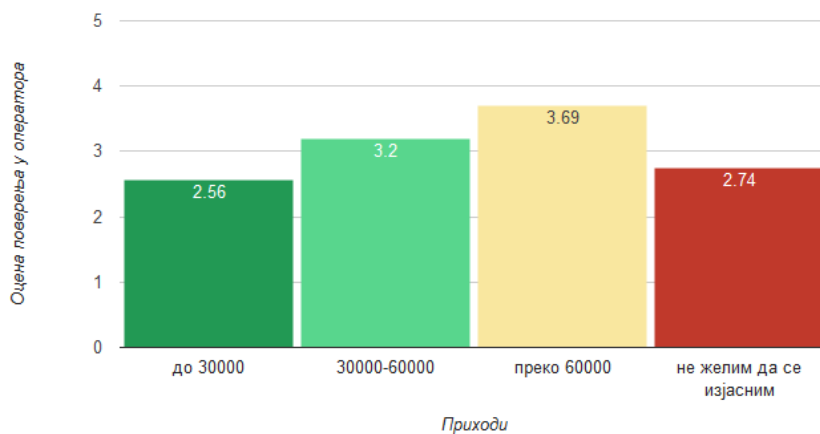
Слика 77. Поверење у оператора тржишта профитну институцију – расподела по годинама



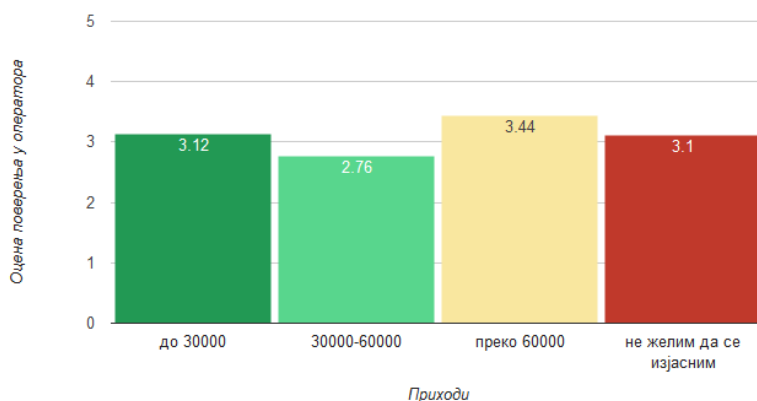
Слика 78. Поверење у оператора тржишта непрофитну институцију – расподела по годинама

Анализа поверења у оператора према висини прихода показује да постоји статистички значајна разлика у поверењу у државну институцију ($F(3,238)=5,444$, $p=0,001$) и у поверењу у профитну организацију ($F(3,238)=2,928$, $p=0,03$), а не постоји статистички

значајна разлика између група када је у питању поверење у непрофитну организацију. По питању поверења у државну институцију, значајне разлике не постоје између група са најнижим приходима и оних који нису желели да се изјасне, нити између група 30.000–60.000 и преко 60.000. У осталим случајевима постоје статистички значајне разлике у поверењу према државној организацији. Ставови који се тичу поверења у профитну организацију значајно се разликују између група са приходима 30.000–60.000 и преко 60.000, док у осталим случајевима не постоје статистички значајне разлике. Добијени резултати су сагласни са анализом по старосним групама, имајући у виду да највећи број испитаника у најмлађој старосној групи није желео да се изјасни о висини прихода. Сlike 79 и 80 приказују расподеле оцена поверења у државну институцију, непрофитну и профитну орагнизацију по примањима испитаника.

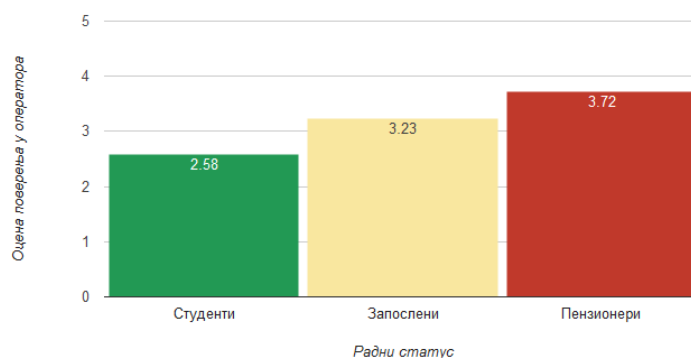


Слика 79. Поверење у оператора тржишта државну институцију – расподела по примањима

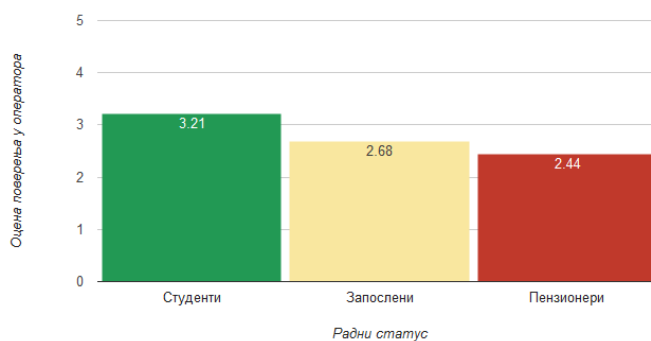


Слика 80. Поверење у оператора тржишта профитну организацију – расподела по примањима

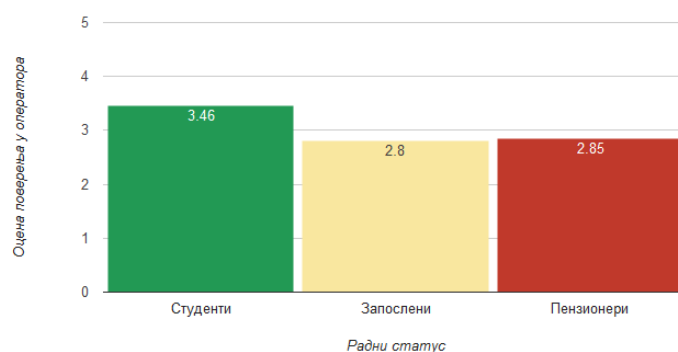
Анализа поверења у зависности од радног статуса показује да постоје статистички значајне разлике у ставовима према сваком типу оператора (државна институција $F(2,238)=7,954$, $p=0,000$), непрофитна организација $F(2,238)=5,318$, $p=0,006$, профитна организација $F(2,238)=7,760$, $p=0,001$). С обзиром на мали узорак, мишљења незапослених испитаника нису узета у обзир приликом анализе. У смислу поверења у сваки од разматраних типова оператора, статистички значајна разлика не постоји између ставова запослених и пензионера, али се ставови студената значајно разликују од осталих група. Ово је у складу са претходним закључцима. Расподела оцена поверења у сваки од типова оператора приказана је на сликама 81, 82 и 83.



Слика 81. Поверење у оператора тржишта државну организацију – расподела по радном статусу

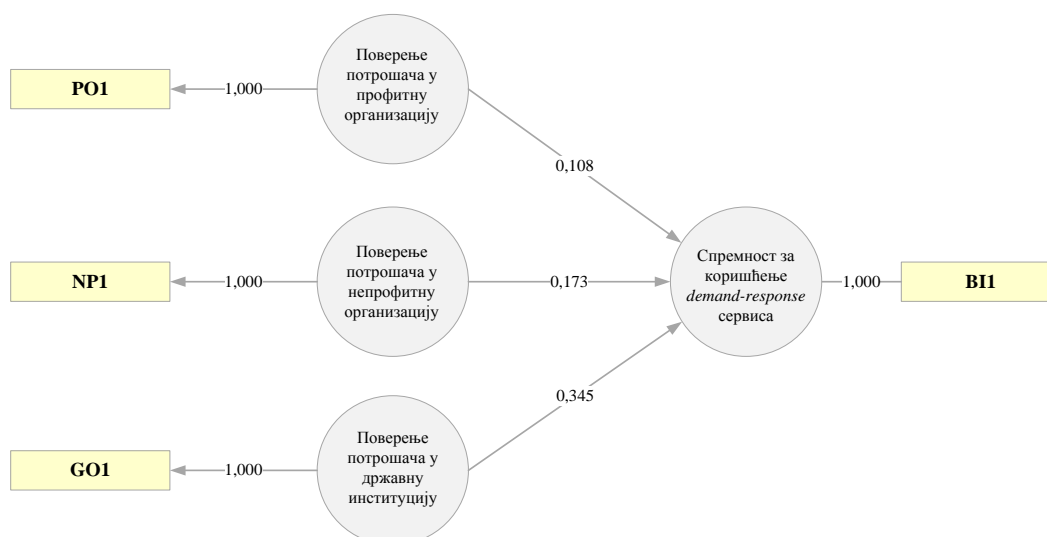


Слика 82. Поверење у оператора тржишта непрофитну организацију – расподела по радном статусу



Слика 83. Поверење у оператора тржишта профитну организацију – расподела по запослењу

Такође, извршено је испитивање утицаја поверења у профитну, непрофитну и државну организацију на спремност за учешће у *demand-response* сервисима. Структурни модел и модел мерења латентних варијабли дати су на слици 84.



Слика 84. Структурни и модел мерења латентних варијабли за испитивање поверења у оператора *demand-response* сервиса

С обзиром на то да је за мерење сваке од варијабли коришћена по једна мера, анализа оцена модела мерења дала је задовољавајуће резултате.

Оцена колинеарности структурног модела приказана је у табели 22. Све добијене вредности VIF фактора су испод 5, што указује да нема проблема колинеарности варијабли.

Табела 22. VIF вредности структурног модела

	Спремност за учешће у <i>demand-response</i> сервисима
Поверење у државну организацију	1,002
Поверење у непрофитну организацију	1,258
Поверење у профитну организацију	1,258

Са слике 79 може се уочити да на Спремност за учешће у *demand-response* сервисима највише утиче поверење у државну организацију. Резултати *bootstrapping*-а су приказани у табели 23. Може се уочити да је утицај поверења у државну организацију Спремност за учешће у *demand-response* сервисима највећи ($\beta=0,345$, $T>1,96$), а затим следи поверење у непрофитну организацију ($\beta=0,173$, $T>1,96$), мада ова веза није јака. Утицај поверења у профитну организацију није статистички значајан.

Табела 23. Тестирање хипотеза

	Оригинални узорак	Ср.Вр.	Ст.Дев.	T статистика	Значајност
Поверење у државну организацију → Спремност за учешће у <i>demand-response</i> сервисима	0,345	0,346	0,061	5,654	0,000
Поверење у непрофитну организацију → Спремност за учешће у <i>demand-response</i> сервисима	0,173	0,173	0,055	3,171	0,002
Поверење у профитну организацију → Спремност за учешће у <i>demand-response</i> сервисима	0,108	0,108	0,062	1,728	0,084

Анализа по појединим демографским карактеристима указује да постоје следеће статистички значајне везе:

- За старосну групу 20–30 година постоји значајност утицаја променљиве Поверење у непрофитну организацију на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,252$, $T>1,96$).
- За старосну групу 31–40 година постоји значајност утицаја променљиве Поверење у непрофитну организацију ($\beta=0,414$, $T>1,96$) и Поверење у државну организацију ($\beta=0,718$, $T>1,96$) на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса.

- За старосну групу 41–50 година постоји значајност утицаја променљиве Поверење у државну организацију на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,484$, $T>1,96$).
- За старосну групу 50+ година постоји значајност утицаја променљиве Поверење у државну организацију на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,422$, $T>1,96$).
- За групу прихода 30.000–60.000 постоји значајност утицаја променљиве Поверење у непрофитну организацију ($\beta=0,243$, $T>1,96$) и Поверење у државну организацију ($\beta=0,434$, $T>1,96$) на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса.
- Код студената постоји значајност утицаја променљиве Поверење у непрофитну организацију на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,277$, $T>1,96$).
- Код запослених постоји значајност утицаја променљиве Поверење у државну организацију на Спремност за коришћење *demand-response* сервиса ($\beta=0,524$, $T>1,96$).

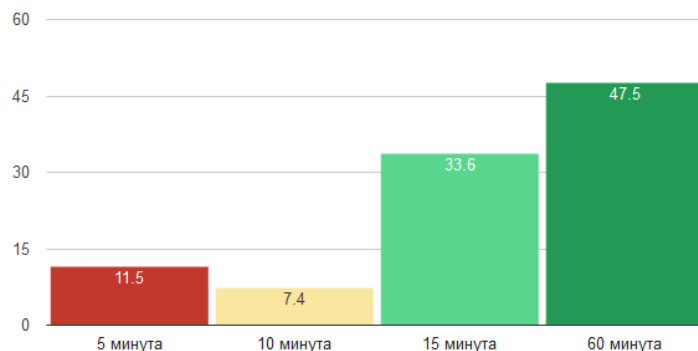
4.2.5. Анализа заинтересованости за сервисе балансног тржишта

Као пример *demand-response* сервиса у регулацији на горе разматрано је искључење клима-уређаја. У табели 24 приказана је расподела оцена сагласности испитаника да им се у летњем периоду накратко искључи клима-уређај према различитим мотивима. Као мотиви који највише мотивишу кориснике за учешће у *demand-response* сервисима издвајају се они који се тичу заштите животне средине и развоја зелене енергије (средње вредности 3,54 и 3,58). Мотиви који се тичу личног профита оцењени су као мање важни (средње вредности 2,73 и 2,87).

Табела 24. Мотиви за учешће у *demand-response* сервису у регулацији на горе

Мотив	5	4	3	2	1	Ср.вр.	Ст.Дев.
Допринос заштити животне средине	73	65	50	17	32	3,54	1,35
Допринос развоју зелене енергије	70	76	41	18	30	3,58	1,32
Лични профит у виду смањења рачуна за струју за 10–50 динара	42	36	47	38	72	2,73	1,48
Лични профит у виду купона за попуст попуст при куповини у супермаркету	50	31	54	37	62	2,87	1,48

За коришћење овог *demand-response* сервиса корисници су се изјашњавали на које максимално време би пристали да им се искључи клима-уређај. Велики број корисника би пристао да им се клима-уређај искључи чак на 60 минута. Резултати су приказани на слици 85. Имајући у виду ове резултате, може се закључити да је време искључења на 15 минута прихватљиво за највећи број корисника.



Слика 85. Расподела времена на које су корисници спремни да им оператор искључи клима-уређај (у процентима)

Као пример *demand-response* сервиса у регулацији на доле разматрано је укључење ТА пећи. У табели 25 приказана је расподела оцена спремности испитаника да им се у зимском периоду накратко искључи ТА пећ према различитним мотивима. Као и у претходном случају, испитанике више мотивишу заштита животне средине и допринос развоју зелених извора енергије у односу на мотиве везане за лични профит или попуст.

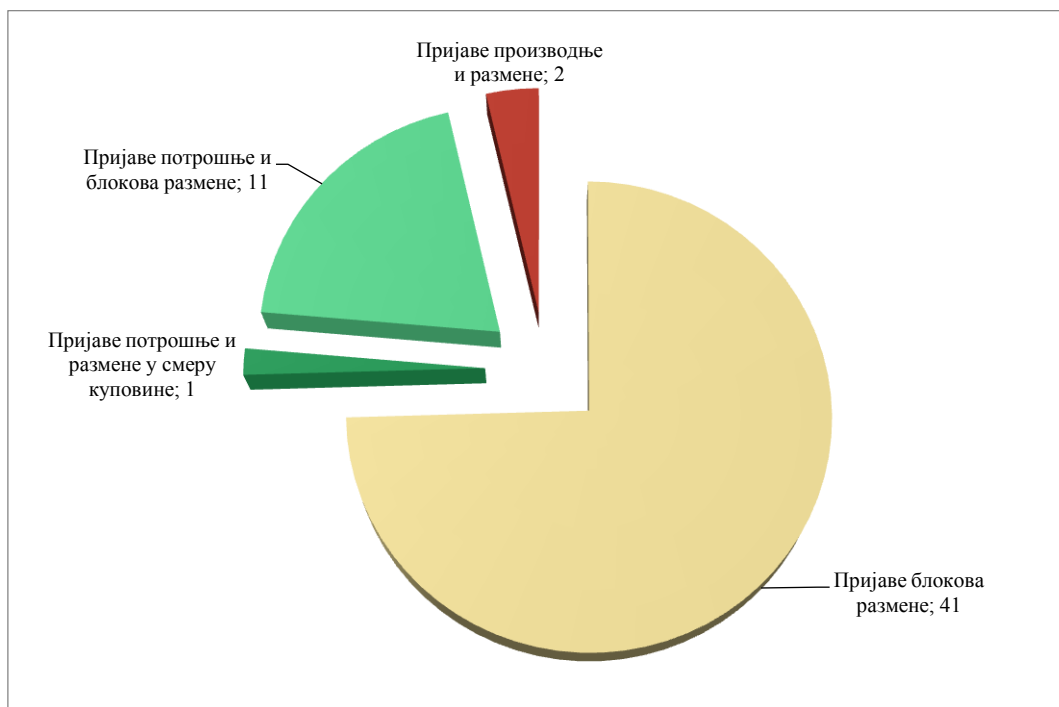
Табела 25. Мотиви за учешће у *demand-response* сервису у регулацији на доле

Мотив	5	4	3	2	1	Ср.вр.	Ст.Дев.
Допринос заштити животне средине	83	55	56	17	33	3,57	1,37
Допринос развоју зелене енергије	78	61	60	14	31	3,58	1,32
Лични профит у виду смањења рачуна за струју за 10–50 динара	39	41	55	40	68	2,75	1,43
Лични профит у виду купона за попуст при куповини у супермаркету	54	39	56	30	64	2,94	1,50

4.3. Анализа спремности оператора тржишта

Током 2016. године ЕМС АД је наставио активности око либерализације тржишта електричне енергије у Републици Србији на основу Закона о енергетици и Уговора о оснивању Енергетске заједнице југоисточне Европе. ЕМС АД је донео нова Правила о раду тржишта електричне енергије и Правила о објављивању кључних тржишних података у децембру 2016. године. ЕМС АД се активно укључио у регионалне и европске иницијативе спајања организованих тржишта електричне енергије, прекограничног балансног тржишта електричне енергије, придруживање канцеларијама за координисане аукције капацитета, као и европског пројекта јединственог унутар дневног тржишта електричне енергије. Трговање на организованом тржишту електричне енергије у Републици Србији (SEEPEx) је започето у фебруару 2016. године.

Измене Закона о енергетици из 2014. године и одговарајуће измене Правилника о лиценци за обављање енергетске делатности и сертификацији из 2015. године омогућиле су и страним компанијама да добију лиценцу за снабдевање на велико електричном енергијом и право да се региструју као балансно одговорне стране. Током 2016. године право на пријаву дневних планова рада, на основу одговарајућег уговора потписаног са ЕМС АД, имало је 60 учесника на тржишту електричне енергије [206]. Структура баланских група у 2016. години приказана је на слици 86.



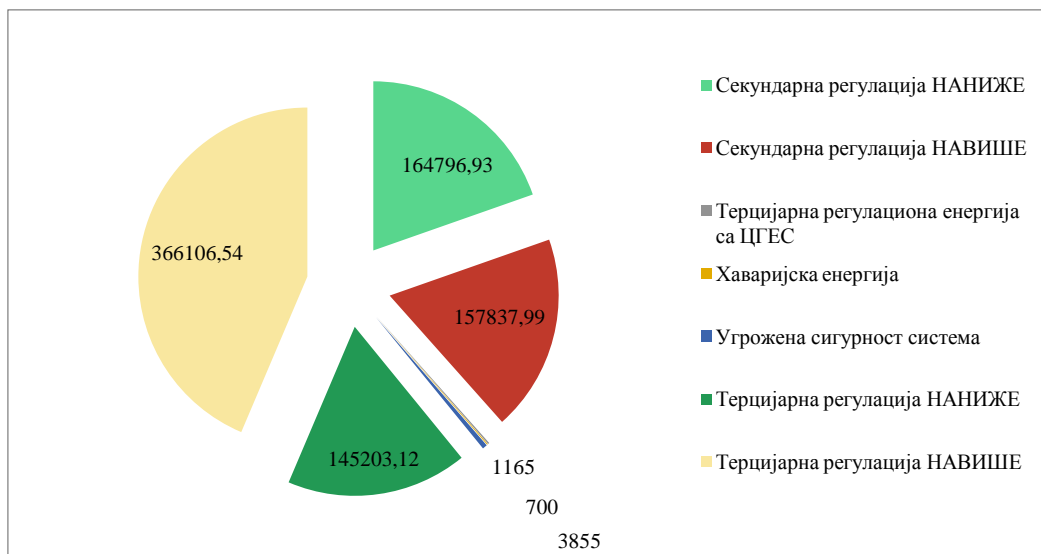
Слика 86. Структура баланских група у 2016. [206]

У складу са Правилима о раду тржишта електричне енергије, ЕМС АД је током 2016. године редовно и у прописаним роковима обрачунавао одступања баланских група на основу којих је на месечном нивоу вршено финансијско поравнање између ЕМС АД и балансно одговорних страна.

ЕМС АД је током 2016. године, за потребе одржавања баланса између укупне производње, потрошње и пријављених блокова размена електричне енергије, унутар своје регулационе области, у складу са Уговором о пружању помоћних услуга и Уговором о учешћу у балансном механизму, потписаним са ЈП ЕПС, ангажовао балансне ентитете за рад у секундарној и терцијарној регулацији. ЕМС АД је током 2016. године за потребе балансирања своје регулационе области ангажовао балансну енергију и у складу са уговорима о размени прекограничне терцијарне регулационе енергије (ПТРЕ) са суседним операторима преносних система. Укупна ангажована балансна енергија у 2016. години је износила 939.664,50 MWh. У табели 26 и на слици 87 приказани су количина и структура ангажоване балансне енергије у регулационој области ЕМС АД у 2016. години [206].

Табела 26. Ангажована балансна енергија на тржишту

2016.	УКУПНА АНГАЖОВАНА БАЛАНСНА ЕНЕРГИЈА (у MWh)						
	СЕКУНДАРНА		ТЕРЦИЈАРНА				
Месец	Смер регулације НАВИШЕ	Смер регулације НАНИЖЕ	Смер регулације НАВИШЕ	Смер регулације НАНИЖЕ	Угрожена сигурност система	Ангажована хаваријска енергија	Терцијарна регулациона енергија са ЦГЕС
Јануар	13584,31	14567,61	31164,58	14965,08			50
Фебруар	11282,66	14080,86	42297,95	13808,17			29
Март	14402,62	13143,93	35378,15	19975,33			300
Април	17672,69	12578,82	68651,73	4844,17	3869,5	400	445
Мај	14151,77	12599,9	423311,37	10143,19			
Јун	9615,82	17513,9	45358,93	5935,95	140		
Јул	10848,14	15365,06	35513,7	10683,59			
Август	10779,75	16663,43	23810,44	12431,06	10,42		350
Септембар	14573,92	11012,62	27117,73	8890,64	15		
Октобар	13071,51	13685,55	43130,69	9806,67		300	
Новембар	11459,75	11532,13	43026,61	12066,19			
Децембар	16395,05	12083,12	28344,66	21649,61			50
Укупно	157837,99	164826,93	847106,54	145199,65	4034,92	700	1224



Слика 87. Структура балансне енергије у 2016. [206]

У складу са Правилима о раду тржишта електричне енергије ЕМС АД је током 2016. године, редовно и у прописаним роковима обрачунавао ангазоване балансне енергије (секундарне и терцијарне) на основу којих је на месечном нивоу вршено финансијско поравнање између ЕМС АД и учесника на балансном механизму. Просечне цене електричне енергије на организованом тржишту електричне енергије у Србији у 2016. години (у периоду од 17. 02. до 31. 12. 2016.) износиле су 34,82 €/MWh (базна цена) и 38,81 €/MWh (вршна цена) [206].

4.4. Дискусија

Иако *demand-response* није нов концепт, анализа литературе и стање у пракси указују да још увек постоје бројни изазови као што су [162][207]:

- 1. Недостатак инфраструктуре:** комуникациона инфраструктура на страни потрошача није у могућности да испуни захтеве *demand-response* сервиса.
- 2. Интероперабилност:** на потрошачкој страни постоји разноврсност комуникационих технологија.
- 3. Сигурност и приватност:** активности домаћинства се могу препознати на основу информација о потрошњи, те се могу јавити проблеми сигурности и заштите приватности ако трећа страна добије ове информације.
- 4. Скалабилност:** Комуникациона инфраструктура треба да подржи учешће више потрошача без латенције.

5. **Сложеност:** имплементација укључује различите ентитете који имају разноврсне функционалне захтеве.
6. **Понашање потрошача:** ангажовање потрошача и прилагођавање њиховог случајног понашања може представљати баријеру за имплементацију *demand-response* сервиса.

Свака иновација овог типа подразумева промене у животним навикама корисника [208]. Нижи рачуни за електричну енергију, утицај на животну средину и већи ниво комфора (боља контрола грејања и хлађења) фактори су који највише охрабрују потрошаче да се укључе у програме управљања електричном енергијом [162]. Добијени резултати у спроведеном истраживању у складу су са подацима из литературе. Потрошачи на српском тржишту као главне мотиве за учешће у *demand-response* сервисима наводе управо лични профит, заштиту животне средине и могућност испробавања нових технологија. Због директне везе између зелених извора енергије и заштите животне средине, ниско интересовање за зелену енергију указује да потрошачи на српском тржишту нису у довољној мери упознати са концептима и технологијама зелене енергије. Такође, резултати указују да ставови испитаника зависе од старосне групе, примања или радног статуса, па се у зависности од појединих демографских карактеристика могу креирати различити пакети *demand-response* сервиса за различите типове корисника.

Када је у питању поверење у оператора, поједине студије [193][209][210] су показале да, упркос позитивном ставу потрошача према *smart grid* технологијама, и даље постоји потреба за повећањем поверења, транспарентности и повратних информација. Резултати спроведеног истраживања указују да млађа популација (студенти, старосна група 20–30 година) више поверења има у оператора који је организован као профитна или непрофитна организација, док старије старосне групе више поверења имају у оператора који је организован као државна институција. С обзиром на то да главну циљну групу развијеног модела чине запослени и пензионери (потрошачи који плаћају рачуне за електричну енергију), намеће се закључак да је са аспекта потрошача најприхватљивије да оператор буде државна институција. Имајући у виду тренутну регулативу српског тржишта, ово је приступ који се може имплементирати брзо и једноставно.

Импликације добијених резултата за различите интересне стране приказане су у табели 27.

Табела 27. Импликације истраживања

	Импликације
Корисници	<ul style="list-style-type: none"> - Применом <i>demand-response</i> технологија могуће је учешће домаћинства на српском тржишту електричне енергије. - Учешћем потрошача у <i>demand-response</i> сервисима повећава се свест грађана о стабилности електроенергетског система и умањује отпор према <i>smart grid</i> технологијама. - Конзистентном применом <i>demand-response</i> сервиса од стране потрошача могуће је директно утицати на стабилност мреже, као и на нежељене догађаје као што су нестанци струје. - Друштвена одговорност у смислу заштите животне средине мотивише кориснике да учествују на балансном тржишту више него лични профит. - Применом <i>demand-response</i> сервиса на баланским тржиштима може се обезбедити адекватан капацитет за пробој електрана које раде помоћу обновљивих извора енергије.
Агрегатори	<ul style="list-style-type: none"> - Применом модела пословања агрегатора за <i>demand-response</i> услуге предузеће које се бави овом делатношћу може остварити позитивне пословне резултате. - Због позитивног утицаја друштвене одговорности потрошача на њихово прихватање технологије, агрегатор у оквиру свог програма услуга мора нагласити ову компоненту. - Агрегатор може позитивно утицати на развој <i>demand-response</i> сервиса у Републици Србији преко подстицања већег броја корисника на њихово коришћење. - Додатном разрадом модела, и увођењем нових <i>demand-response</i> сервиса, агрегатор може своје услуге проширити и на друга тржишта као и утицати на будући развој <i>smart grid</i> технологија. - Анализом појединачне потрошње корисника и њихових уређаја, могућа су детаљна предвиђања потрошње која могу повећати прецизност прогнозе потрошње у мрежи.

Оператори

- Применом *demand-response* технологија оператори тржишног, преносног и дистрибутивног система могу повећати ефикасности својих система.
- Оператори тржишта могу обезбедити већи капацитет у случајевима вршне потрошње, и повећати флексибилност помоћних сервиса на балансном тржишту Републике Србије.
- Преносни оператори могу смањити зависност од спољних извора енергије при хаваријама агресивнијим применама *demand-response* технологија у критичним ситуацијама.
- Оператори дистрибутивне мреже могу присвојити улоге агрегатора и тиме повећати свој профит.
- Повећањем друштвене одговорности корисника, могући су лакши пробоји других технологија и сервиса који захтевају већу корисничку иницијативу и ентузијазам.

5. Научни и стручни доприноси

Научни допринос докторске дисертације огледа се у дефинисању модела електронског пословања за учешће потрошача на тржишту електричне енергије, који је независан од инфраструктуре и организације електроенергетског система и специфичан је за српско тржиште и регулативу. Фокус техничког модела је на примени IoT технологија ради постизања вишег нивоа интеграције са корисничким системима и компатабилност са великим бројем уређаја и контролера разних произвођача. Имплементација пословног модела је заснована на међународним стандардима за *demand-response* и на примени иновативних *smart grid* концепата. Кључни научни доприноси ове дисертације су:

1. Формални опис модела електронског пословања заснованог на флексибилном учешћу потрошача на српском тржишту електричне енергије.
2. Модел електронског пословања на балансном тржишту Републике Србије и на берзи електричне енергије, прилагођен будућој интеграцији са *smart grid* технологијама.
3. Формални описи модела и метода дистрибуираног *demand-response* система. Развијени модел је флексибилан и може се једноставно мењати и прилагођавати у складу са тржиштем у коме се налази.
4. Модел пословних процеса за учествовање потрошача на тржиштима електричне енергије.
5. Модел извештавања за пословне процесе у оквиру предложеног модела.
6. Анализа спремности потрошача за прихватање нових *demand-response* технологија, са детаљном анализом њихових мотивација.
7. Анализа спремности оператора за подршку пословних процеса везаних за *demand-response* као ресурс на балансном тржишту електричне енергије.

Рад на овој десертацији резултовао је и низом стручних доприноса од којих су најважнији: анализа примене *smart grid* технологија у електроенергетским системима, примена IoT концепата за потребе контроле кућних уређаја, примене дистрибуираног рачунарства за управљање *demand-response* системом и анализа постојећих модела електронског пословања на тржишту електричне енергије. Као додатак предложеном моделу урађена је и анализа спремности потрошача и оператора српског тржишта за увођење *demand-response* сервиса. Резултати анализе спремности потрошача указали су на висок степен заинтересованости крајњих корисника за учешће у *demand-response*

сервисима. Идентификовани су показатељи заинтересованости потрошача за коришћење *demand-response* сервиса: став према заштити животне средине, лични профит и интересовање за нове технологије. Спремност потрошача за коришћење *demand-response* сервиса анализирана је у зависности од њихових година, висине прихода и радног статуса. Анализа спремности оператора је утврђена анализом пословних процеса, тренутне праксе и стања на тржишту. Утврђена је спремност оператора за имплементацију *demand-response* сервиса, уз потенцијалне промене у регулативама ради ефикаснијег усвајања ове технологије.

5.1. Верификација научних доприноса

Верификација научних доприноса обављена је кроз процес ригорозне рецензије и објављивање радова у врхунским међународним часописима са високим импакт фактором. Резултатате који су проистекли из рада на овој докторској дисертацији Милош Раденковић је објавио у четири рада. Два рада су у часопису категорије M21, један рад у часопису категорије M22 и један рад у зборнику категорије M63.

Објављени радови у часописима међународног значаја категорије M20

1. **M. Radenković**, J. Lukić, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, Z. Bogdanović, “Harnessing Business Intelligence in Smart Grids: A Case of the Electricity Market”, *Computers in Industry*, Volume 96, pp. 40–53, 2018.
DOI:10.1016/j.compind.2018.01.006, ISSN: 0166-3615, IF(2016) = 2.691, (M21).
2. J. Lukić, **M. Radenković**, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, and Z. Bogdanović, “Supply chain intelligence for electricity markets: A smart grid perspective”, *Information Systems Frontiers*, Vol. 19(1), pp. 91–107, 2017,
DOI: 10.1007/s10796-015-9592-z, ISSN: 1387-3326, IF(2016)=2.521, (M21).
3. J. Lukić, **M. Radenković**, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, and Z. Bogdanović, “A hybrid approach to building a multi-dimensional business intelligence system for electricity grid operators”, *Utilities Policy*, Vol. 41, pp. 95–106, 2016,
DOI: 10.1016/j.jup.2016.06.010, ISSN: 0957-1787, IF(2016)=1.682, (M22).

Рад објављен у зборнику научног скупа националног значаја M60

1. J. Lukic, **M. Radenkovic**, R. Delic, M. Jankovic, M. Zaric, and N. Tosic, „Implementacija prve faze sistema poslovne inteligencije u JP Elektromreža Srbije“; in: InfoFest, Budva 27. 09–03.10 2015, (M63).

Укупан збир импакт фактора часописа у којима су објављени радови из ове дисертације износи 6.894.

6. Будућа истраживања

На основу реализације предложеног модела и евалуације постигнутих резултата, како у техничком тако и пословном аспекту, размотриће се даљи правци истраживања. Примарни ток истраживања имаће за циљ стандардизацију и унапређење техничке инфраструктуре, хардвера и софтвера. Стандардизацијом техничке инфраструктуре доприноси се стабилности система и омогућава се лакше постизање скалабилности, у виду миграције на *cloud* инфраструктуру.

Промене у регулативи Републике Србије, које се очекују у будућности, могу понудити подршку за *demand-response*. Будући развој предложеног модела и технолошке инфраструктуре треба прилагодити тим променама.

Секударна област будућих истраживања је усклађивање и синхронизација српског модела за *demand-response* са иностраним моделима и стандардима. Усклађивањем пословних процеса и комуникационих протокола са међународним стандардима олакшаће се будућа сарадња и постојаће могућност поређења са иностраним моделима пословања.

Да би се унапредило задовољство потрошача биће потребно спровести нову и детаљнију анализу могућности, жеља и навика потрошача на српском тржишту, у циљу прилагођавања социјалним и економским условима. Детаљна анализа понашања потрошача може резултовати променама у пословном моделу, као и идентификацијом нових *demand-response* сервиса.

7. Закључак

Предмет ове дисертације је развој модела електронског пословања заснованог на флексибилном учешћу потрошача на српском тржишту електричне енергије. Главни научни доприноси ове докторске дисертације су: модел електронског пословања прилагођен балансном тржишту електричне енергије у Републици Србији, модел дистрибуираног *demand-response* система, модел пословних процеса за учествовање потрошача на тржиштима електричне енергије, анализа спремности потрошача за прихватање нових *demand-response* технологија и анализа спремности оператора за подршку пословним процесима везаним за *demand-response* као ресурс на балансном тржишту.

Рад на овој дисертацији резултовао је и низом стручних доприноса од којих су најважнији: анализа примене *smart grid* технологија у електроенергетским системима, примена ИТ концепата за потребе контроле кућних уређаја, примене дистрибуираног рачунарства за управљање *demand-response* системом, анализа постојећих модела електронског пословања на тржишту електричне енергије и развој механизма за аутоматизовано учешће потрошача на тржиштима електричне енергије.

Имплементацијом предложеног модела могуће је остварити директне и индиректне користи за индивидуална домаћинства као и за целокупан електроенергетски систем. Директна корист по домаћинства огледа се у мањем рачуну електричне енергије и стабилнијем раду мреже, уз мање непланираних нестанака струје. Конзистентном применом *demand-response* модела пословања, могуће је остварити дугорочне користи по целокупан систем. Ове дугорочне користи највише се могу осетити на тржиштима електричне енергије, на којима се директно повећава ефикасност тржишта преко смањења цена вршне потрошње, пробоја зелених генератора електричне енергије на тржиште, смањења тржишне моћи учесника на тржишту и веће енергетске независности целокупне електроенергетске мреже.

Резултати истраживања из докторске дисертације објављени су у четири рада, од којих су три објављена у часописима међународног значаја категорија М21 и М22. Укупан збир импакт фактора часописа у којима су објављени радови из ове дисертације износи 6.894.

Посебну пажњу у будућим истраживањима треба посветити новим моделима пословања који се базирају на дистрибуираном генерисању и регулисаној потрошњи електричне енергије, као и широј интеграцији са обновљивим изворима енергије.

8. Референтна литература

- [1] N. Tesla, "System of Electrical Distribution", US381970A, 01-May-1888.
- [2] N. Tesla, "System of electrical distribution", US390413A, 02-Oct-1888.
- [3] N. Tesla, "Method and apparatus for electrical conversion and distribution", US462418A, 03-Nov-1891.
- [4] B. Kirby, "Ancillary services: Technical and Commercial Insights" 2007.
- [5] E. Hirst and B. Kirby, "Electric-Power Ancillary Services", 1996.
- [6] FERC, "A Handbook of Energy Market Basics", *Department of Energy*, 2015.
- [7] T. F. Garrity, "Getting smart", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 38–45, 2008.
- [8] A. Ipakchi and F. Albuyeh, "Grid of the future", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 52–62, 2009.
- [9] H. Farhangi, "The path of the smart grid", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, 2010.
- [10] S. M. Amin and B. F. Wollenberg, "Toward a smart grid: power delivery for the 21st century", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 3, no. 5, pp. 34–41, 2005.
- [11] J. Fan and S. Borlase, "The evolution of distribution", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 7, no. 2, pp. 63–68, 2009.
- [12] R. E. Brown, "Impact of Smart Grid on Distribution System design", in *IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, PES, 2008.
- [13] X. Fang, S. Misra, G. Xue and D. Yang, "Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey", *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, 2012.
- [14] Y. Yan, Y. Qian, H. Sharif, and D. Tipper, "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges", vol. 15, no. 1, pp. 1–16, 2012.
- [15] V. C. Gungor *et al.*, "A Survey on smart grid potential applications and communication requirements", *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 28–42, 2013.
- [16] A. Bose, "Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure", *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 11–19, 2010.
- [17] K. Moslehi and R. Kumar, "A reliability perspective of the smart grid", *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 57–64, 2010.
- [18] J. Momoh, "Smart grid design for efficient and flexible power networks operation and control"; in *2009 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, 2009, pp. 1–8.
- [19] National Institute of Standards and Technology and N. S. Publication, "NIST Special Publication 1108R2 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards", NIST Special Publication 1108R2 NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards", *Nist Spec. Publ.*, vol. 0, pp. 1–90, 2012.
- [20] S. Ramchurn, P. Vytelingum, A. Rogers, and N. R. Jennings, "Putting the 'Smarts' into the Smart Grid: A Grand Challenge for Artificial Intelligence", *Commun. Acm*, vol. 55, no. 4, pp. 86–97, 2012.
- [21] D. G. Hart, "Using AMI to realize the Smart Grid", in *IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, PES, 2008, pp. 1–2.
- [22] A. Vojdani, "Smart integration", *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 6, no. 6, pp. 71–79, 2008.
- [23] F. E. R. C. (FERC), "Assessment of Demand Response and Advanced Metering", *Dep. Energy EEUU*, p. 130, 2012.
- [24] S. Shao, T. Zhang, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, "Impact of TOU rates on distribution load shapes in a smart grid with PHEV penetration", in *2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Smart Solutions for a Changing World*, 2010, pp. 1–6.

- [25] F. Li *et al.*, “Smart transmission grid: Vision and framework”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 168–177, 2010.
- [26] W. Wang, Y. Xu, and M. Khanna, “A survey on the communication architectures in smart grid”, *Comput. Networks*, vol. 55, no. 15, pp. 3604–3629, 2011.
- [27] S. Galli, a Scaglione, and Z. Wang, “For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid”, *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 998–1027, 2011.
- [28] Z. M. Fadlullah, M. M. Fouda, N. Kato, A. Takeuchi, N. Iwasaki, and Y. Nozaki, “Toward intelligent machine-to-machine communications in smart grid”, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 60–65, 2011.
- [29] D. Niyato, L. Xiao, and P. Wang, “Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid”, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 53–59, 2011.
- [30] V. C. Gungor *et al.*, “Smart grid technologies: Communication technologies and standards”, *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 529–539, 2011.
- [31] Y. Zhang, R. Yu, S. Xie, W. Yao, Y. Xiao, and M. Guizani, “Home M2M networks: Architectures, standards, and QoS improvement”, *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 44–52, 2011.
- [32] V. C. Gungor, B. Lu, and G. P. Hancke, “Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 10, pp. 3557–3564, 2010.
- [33] P. P. Parikh, M. G. Kanabar, and T. S. Sidhu, “Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications”, *Power Energy Soc. Gen. Meet. 2010 IEEE*, no. Cc, pp. 1–7, Jul. 2010.
- [34] P. Yi, A. Iwayemi, and C. Zhou, “Developing ZigBee deployment guideline under WiFi interference for smart grid applications”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 98–108, 2011.
- [35] A. R. Metke and R. L. Ekl, “Security technology for smart grid networks”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 99–107, 2010.
- [36] C. Lima, “Smart Grids IEEE P2030”, *ETSI*, 2011. [Online]. Available: https://docbox.etsi.org/workshop/2011/201104_smartgrids/02_STANDARDS/IEEE_LI_MA.pdf. [Accessed: 24-Feb-2018].
- [37] idc-online.com, “In Front Of The Third Electrical Systems Revolution in United States Power Demand as a Power Resource”. [Online]. Available: <http://electrical-engineering-portal.com/>. [Accessed: 15-May-2017].
- [38] E. Hossain, Z. Han, and P. Vicent, “Smart Grid Communications”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 4, pp. 675–685, 2012.
- [39] Office of the Manager National Communications System, “Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems”, *Tech. Inf. Bull. 04-1*, no. October, p. 76, 2004.
- [40] M. Erol-Kantarci and H. T. Mouftah, “Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 314–325, 2011.
- [41] V. K. Sood, D. Fischer, J. M. Eklund, and T. Brown, “Developing a communication infrastructure for the smart grid”, *2009 IEEE Electr. Power Energy Conf. EPEC 2009*, vol. 4, pp. 1–7, 2009.
- [42] H. Farhangi, “The path of the smart grid”, *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, Jan. 2010.
- [43] A. Molderink, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, and G. J. M. Smit, “Management and control of domestic smart grid technology”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 109–119, Sep. 2010.
- [44] L. F. Ochoa and G. P. Harrison, “Minimizing Energy Losses: Optimal Accomodation and Smart Operation of Renewable Distributed Generation”, *Power Syst.*, vol. 26, no. 1, pp. 198-205-NaN-0, 2011.

- [45] International Energy Agency, “Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets”, 2002. [Online]. Available: <http://library.umac.mo/ebooks/b13623175.pdf>. [Accessed: 15-May-2017].
- [46] H. Kanchev, D. Lu, F. Colas, V. Lazarov, and B. Francois, “Energy management and operational planning of a microgrid with a PV based active generator for smart grid applications”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 10, pp. 4583–4592, 2011.
- [47] W. Saad, Z. Han, H. V. Poor, and T. Basar, “Game-theoretic methods for the smart grid: An overview of microgrid systems, demand-side management, and smart grid communications”, *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 29, no. 5, pp. 86–105, 2012.
- [48] European Commission Directorate General for Research and Sustainable Energy Systems, “Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future”, *European Commission*, 2006. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf. [Accessed: 15-May-2017].
- [49] W. Su, H. Rahimi-eichi, W. Zeng, and M. Chow, “A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment”, *Ieee Trans. Ind. Informatics*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2012.
- [50] K. Schneider, C. Gerkenmeyer, M. Kintner-Meyer, and R. Fletcher, “Impact assessment of plug-in hybrid vehicles on pacific northwest distribution systems”, in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, pp. 1–6.
- [51] E. Sortomme, M. M. Hindi, S. D. J. MacPherson, and S. S. Venkata, “Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 186–193, 2011.
- [52] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. S. Masoum, “Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 456–467, 2011.
- [53] E. Sortomme and M. A. El-Sharkawi, “Optimal scheduling of vehicle-to-grid energy and ancillary services”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 351–359, 2012.
- [54] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, “Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1229–1238, 2011.
- [55] E. Sortomme and M. A. El-Sharkawi, “Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 2, no. 1, pp. 119–126, 2011.
- [56] W. Kempton and S. E. Letendre, “Electric vehicles as a new power source for electric utilities”, *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 2, no. 3, pp. 157–175, Sep. 1997.
- [57] W. H. Reuter, J. Szolgayová, S. Fuss, and M. Obersteiner, “Renewable energy investment: Policy and market impacts”, *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 249–254, 2012.
- [58] Y. Sheng and X. Shi, “Energy market integration and equitable growth across countries”, *Appl. Energy*, vol. 104, pp. 319–325, 2013.
- [59] H. Lund, A. N. Andersen, P. A. Ostergaard, B. V. Mathiesen, and D. Connolly, “From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding”, *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 96–102, 2012.
- [60] B. Barton, “Risk and promise in energy market liberalization: Consumer choice in buying electricity”, in *Applied Energy*, 1999, vol. 64, no. 1–4, pp. 275–288.
- [61] M. Bae, H. Kim, E. Kim, A. Y. Chung, H. Kim, and J. H. Roh, “Toward electricity retail competition: Survey and case study on technical infrastructure for advanced electricity market system”, *Appl. Energy*, vol. 133, pp. 252–273, Nov. 2014.
- [62] P. L. Joskow, “The difficult transition to competitive electricity markets in the U.S”, *MIT*, 2003. [Online]. Available: <https://economics.mit.edu/files/1160>. [Accessed: 15-May-2017].
- [63] G. Schuitema, L. Ryan, and C. Aravena, “The Consumer’s Role in Flexible Energy Systems: An Interdisciplinary Approach to Changing Consumers’ Behavior”, *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 15, no. 1, pp. 53–60, Jan. 2017.

- [64] International Energy Agency, “Empowering Customer Choice in Electricity Markets”, 2011.
- [65] S. Pfenninger, A. Hawkes, and J. Keirstead, “Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 74–86, May 2014.
- [66] E. Becirovic, M. Music, N. Hasanspahic, and S. Avdokic, “Smart Grid Implementation in Electricity Distribution of Elektroprivreda B&H – Requirements and objectives”, *International Symposium on Sustainable Development (ISSD2013) “Energy issues and solutions”*. International Burch University, 24-May-2013.
- [67] V. Giordano and G. Fulli, “A business case for Smart Grid technologies: A systemic perspective”, *Energy Policy*, vol. 40, pp. 252–259, Nov. 2011.
- [68] F. McLoughlin, A. Duffy, and M. Conlon, “A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data”, *Appl. Energy*, vol. 141, pp. 190–199, Mar. 2015.
- [69] Y. Li, L. Wang, L. Ji, and C. Liao, “A Data Warehouse Architecture supporting Energy Management of Intelligent Electricity System”, *2nd Int. Conf. Comput. Sci. Electron. Eng. (ICCSEE 2013)*, no. Iccsee, pp. 696–699, 2013.
- [70] N. Stefanovic, D. Stefanovic, and B. Radenkovic, *Electronic Supply Network Coordination in Intelligent and Dynamic Environments*. IGI Global, 2011.
- [71] L. Argotte, M. Mejia-Lavalle, and R. Sosa, “Business Intelligence and Energy Markets: A Survey”, in *2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, 2009, pp. 1–6.
- [72] E. Personal, J. I. Guerrero, A. Garcia, M. Peña, and C. Leon, “Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals”, *Energy*, vol. 76, pp. 976–988, Nov. 2014.
- [73] N. Stefanovic and D. Stefanovic, “Supply Chain Performance Measurement System Based on Scorecards and Web Portals”, *Comput. Sci. Inf. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 167–192, 2011.
- [74] E. B. Alhyasat and M. Al-Dalahmeh, “Data Warehouse Success and Strategic Oriented Business Intelligence: A Theoretical Framework”, *J. Manag. Res.*, vol. 5, no. 3, pp. 169–184, Jul. 2013.
- [75] Accenture, “Achieving high performance in smart grid data management: The utility industry context”, 2010. [Online]. Available: https://www.smartgrid.gov/files/Achieving_High_Performance_in_Smart_Grid_Data_Management_201012.pdf. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [76] Accenture, “Ten Leading Practices Smart Grid Analytics”, 2011. [Online]. Available: <http://www.cas-uk.com/microsite/india-smart-grid/Documents/dev-script/pdf-files/Accenture-Ten-Leading-Practices-Smart-Grid-Analytics.pdf>. [Accessed: 01-Mar-2016].
- [77] M. Peters, W. Ketter, M. Saar-Tsechansky, and J. Collins, “A reinforcement learning approach to autonomous decision-making in smart electricity markets”, *Mach. Learn.*, vol. 92, no. 1, pp. 5–39, Apr. 2013.
- [78] J. S. Vardakas, N. Zorba, and C. V. Verikoukis, “Performance evaluation of power demand scheduling scenarios in a smart grid environment”, *Appl. Energy*, vol. 142, pp. 164–178, Mar. 2015.
- [79] J. Lukić, M. Radenković, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, and Z. Bogdanović, “A hybrid approach to building a multi-dimensional business intelligence system for electricity grid operators”, *Util. Policy*, vol. 41, pp. 95–106, Aug. 2016.
- [80] P. D. Diamantoulakis, V. M. Kapinas, and G. K. Karagiannidis, “Big Data Analytics for Dynamic Energy Management in Smart Grids”, *Big Data Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 94–101, 2015.
- [81] A. Dieb Martins and E. C. Gurjao, “Processing of smart meters data based on random projections”, in *2013 IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America)*, pp. 1–4, 2013.

- [82] M. Vasirani and S. Ossowski, "Smart consumer load balancing: state of the art and an empirical evaluation in the Spanish electricity market", *Artif. Intell. Rev.*, vol. 39, no. 1, pp. 81–95, Jan. 2013.
- [83] K. Zhou, S. Yang, and C. Shen, "A review of electric load classification in smart grid environment", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 24, pp. 103–110, 2013.
- [84] J. Lukić, M. Radenković, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, and Z. Bogdanović, "Supply chain intelligence for electricity markets: A smart grid perspective", *Inf. Syst. Front.*, vol. 19, no. 1, pp. 91–107, Sep. 2017.
- [85] J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters", *Proc. 6th Symp. Oper. Syst. Des. Implement.*, pp. 137–149, 2004.
- [86] T. Baumeister, "Literature Review on Smart Grid Cyber Security", *Simulation*, no. December, 2010.
- [87] Y. Mo *et al.*, "Cyber-physical security of a smart grid infrastructure", *Proc. IEEE*, vol. 100, no. 1, pp. 195–209, 2012.
- [88] O. Kosut, L. J. L. Jia, R. J. Thomas, and L. T. L. Tong, "Malicious Data Attacks on Smart Grid State Estimation: Attack Strategies and Countermeasures", *Smart Grid Commun. (SmartGridComm), 2010 First IEEE Int. Conf.*, pp. 1–6, 2010.
- [89] G. N. Ericsson, "Cyber security and power system communication essential parts of a smart grid infrastructure", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 3, pp. 1501–1507, 2010.
- [90] W. Wang and Z. Lu, "Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges", *Comput. Networks*, vol. 57, no. 5, pp. 1344–1371, 2013.
- [91] R. Lu, X. Liang, X. Li, X. Lin, and X. (Sherman) Shen, "EPPA: An Efficient and Privacy-Preserving Aggregation Scheme for Secure Smart Grid Communications", *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 9, SI, pp. 1621–1631, 2012.
- [92] C. Efthymiou and G. Kalogridis, "Smart Grid Privacy via Anonymization of Smart Metering Data", *Smart Grid Commun. (SmartGridComm), 2010 First IEEE Int. Conf.*, pp. 238–243, 2010.
- [93] G. Kalogridis, C. Efthymiou, S. Z. Denic, T. a. Lewis, and R. Cepeda, "Privacy for Smart Meters: Towards Undetectable Appliance Load Signatures", *Smart Grid Commun. (SmartGridComm), 2010 First IEEE Int. Conf.*, pp. 232–237, 2010.
- [94] F. F. Li, B. Luo, and P. Liu, "Secure Information Aggregation for Smart Grids Using Homomorphic Encryption", *IEEE Smart Grid Comm*, pp. 327–332, 2010.
- [95] E. M. Lightner and S. E. Widergren, "An orderly transition to a transformed electricity system", *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 3–10, Jun. 2010.
- [96] M. Pipattanasomporn, H. Feroze, and S. Rahman, "Multi-agent systems in a distributed smart grid: Design and implementation", *IEEE/PES Power Syst. Conf. Expo. 2009. PSCE '09.*, pp. 1–8, 2009.
- [97] a Ipakchi, "Implementing the Smart Grid: Enterprise Information Integration", *Grid-Interop Forum.*, pp. 1–7, 2007.
- [98] Z. Fan *et al.*, "Smart grid communications: Overview of research challenges, solutions, and standardization activities", *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 21–38, 2013.
- [99] No Author, *IEEE P2030/D6.0, July 2011: IEEE Draft Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads*. IEEE, 2011.
- [100] T. M. McDaniel and P. A. Groothuis, "Retail competition in electricity supply-Survey results in North Carolina", *Energy Policy*, vol. 48, pp. 315–321, 2012.
- [101] A. Faruqui, D. Harris, and R. Hledik, "Unlocking the 53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment", *Energy Policy*, vol. 38, no. 10, pp. 6222–6231, 2010.
- [102] M. Filippini, "Electricity demand by time of use An application of the household AIDS model", *Energy Econ.*, vol. 17, no. 3, pp. 197–204, Jul. 1995.

- [103] K. Herter, “Residential implementation of critical-peak pricing of electricity”, *Energy Policy*, vol. 35, no. 4, pp. 2121–2130, 2007.
- [104] N. Bashir, Z. Sharani, K. Qayyum, and A. A. Syed, “Aashiyana: Design and Evaluation of a Smart Demand-Response System for Highly-stressed Grids”, Apr. 2015.
- [105] NYISO, “NYISO (Markets Operations – Market Data – Graphs)”, *SEDC*, 2017. [Online]. Available: http://www.nyiso.com/public/markets_operations/market_data/graphs/index.jsp. [Accessed: 07-Jul-2017].
- [106] IPEEC, “ipeec.org.” [Online]. Available: <https://ipeec.org/>. [Accessed: 15-May-2017].
- [107] blizzard.cs.uwaterloo, “Projects | Omid Ardakanian”. [Online]. Available: <http://blizzard.cs.uwaterloo.ca/~oardakan/index.php/projects/>. [Accessed: 15-May-2017].
- [108] ENTSO-E, “Entso-E Reserve Resource Process (Errp)”, pp. 1–229, 2011.
- [109] ЕМС АД | Електромрежа Србије, “Просечна цена балансне енергије на месечном нивоу” 2014. [Online]. Available: http://ems.rs/page.php?kat_id=563. [Accessed: 16-Feb-2018].
- [110] J. Medina, N. Muller, and I. Roytelman, “Demand response and distribution grid operations: Opportunities and challenges”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 193–198, 2010.
- [111] R. Boisvert, P. Cappers, B. Neenan, and B. Scott, “Industrial and Commercial Customer Response To Real Time Electricity Prices”, *Work. Pap.*, p. 51, 2004.
- [112] T. Logenthiran, D. Srinivasan, and T. Z. Shun, “Demand side management in smart grid using heuristic optimization”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 3, pp. 1244–1252, 2012.
- [113] P. Samadi, H. Mohsenian-Rad, R. Schober, and V. W. S. Wong, “Advanced Demand Side Management for the Future Smart Grid Using Mechanism Design”, *Smart Grid, IEEE Trans.*, vol. 3, no. 3, pp. 1170–1180, 2012.
- [114] A. H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, and A. Leon-Garcia, “Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 3, pp. 320–331, 2010.
- [115] S. Caron and G. Kesidis, “Incentive-Based Energy Consumption Scheduling Algorithms for the Smart Grid”, *Smart Grid Commun. (SmartGridComm), 2010 First IEEE Int. Conf.*, pp. 391–396, 2010.
- [116] a J. Conejo, J. M. Morales, and L. Baringo, “Real-Time Demand Response Model”, *Smart Grid, IEEE Trans.*, vol. 1, no. 3, pp. 236–242, 2010.
- [117] D. Stefanovic, N. Stefanovic, and B. Radenkovic, “Supply network modelling and simulation methodology”, *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 17, no. 4, pp. 743–766, Apr. 2009.
- [118] J. C. Fuller and G. B. Parker, “Modeling of GE Appliances: Cost Benefit Study of Smart Appliances in Wholesale Energy, Frequency Regulation, and Spinning Reserve Markets”, 2012.
- [119] P. P. Varaiya, F. F. Wu, and J. W. Bialek, “Smart Operation of Smart Grid: Risk-Limiting Dispatch”, *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, 2008.
- [120] W. D’haeseleer, L. de Vries, C. Kang, and E. Delarue, “Flexibility Challenges for Energy Markets: Fragmented Policies and Regulations Lead to Significant Concerns”, *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 15, no. 1, pp. 61–71, 2017.
- [121] Navigant Consulting Inc., “Potential Role of Demand Response Resources in Maintaining Grid Stability and Integrating Variable Renewable Energy under California’s 33 Percent Renewable Portfolio Standard”, 2012.
- [122] J. O’Neill, *Demand Response: Electricity Market Benefits and Energy Efficiency Coordination*. New York: Nova Science Publishers, Inc, 2013.
- [123] A. H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, and R. Schober, “Optimal and

- autonomous incentive-based energy consumption scheduling algorithm for smart grid”, *Innov. Smart Grid Technol. Conf. ISGT 2010*, pp. 1–6, 2010.
- [124] D. Violette, R. Freeman, and C. Neil, *Demand Response Resources Valuation Market Analysis Volume II -- Assessing the DRR benefits and costs*. 2006.
- [125] J. A. Schachter and P. Mancarella, “Demand Response Contracts as Real Options: A Probabilistic Evaluation Framework Under Short-Term and Long-Term Uncertainties”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 868–878, 2015.
- [126] P. Samadi, A.-H. Mohsenian-Rad, R. Schober, V. W. S. Wong, and J. Jatskevich, “Optimal Real-Time Pricing Algorithm Based on Utility Maximization for Smart Grid”, *2010 First IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, pp. 415–420, 2010.
- [127] L. E. Ruff, “Economic Principles of Demand Response in Electricity”, *October*, no. October, 2002.
- [128] S. Mohagheghi, J. Stoupis, Z. Wang, Z. Li, and H. Kazemzadeh, “Demand Response Architecture: Integration into the Distribution Management System”, in *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 2010, pp. 501–506.
- [129] ICF International, “Pricing and incentives - Energy efficiency toolkit”, 2015.
- [130] Joule Assets, “The Demand Side | The Joule Assets”. [Online]. Available: <http://www.jouleassets.com/tag/demand-response/>. [Accessed: 23-May-2017].
- [131] J. Stromback, “Status of Demand Response in Europe”, 2015. [Online]. Available: <https://www.irgc.org/wp-content/uploads/2015/09/Stromback-Demand-Response-2015.pdf>. [Accessed: 23-May-2017].
- [132] ENTSO-E, “Guideline on Electricity Balancing”, 2017. [Online]. Available: https://www.entsoe.eu/Documents/Network_codes/documents/NC_EB/Informal_Service_Level_EBGL_16-03-2017_Final.pdf. [Accessed: 23-May-2017].
- [133] Republika Srbija, “Zakon o energetici”, *Službeni glasnik*, 2014. [Online]. Available: http://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_energetici.html.
- [134] Elektromreža Srbije, “Trzisna Pravila Srbije 2016”, 2016. [Online]. Available: http://ems.rs/media/uploads/2017/Pravila_o_radu_trzista/Pravila_o_radu_trzista_elektricne_energije_-_09.12.2016.pdf.
- [135] A. Osterwalder, Y. Pigneur, T. Clark, and A. Smith, *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*.
- [136] B. Haaser Managing Director, “Enabling The Standard for Automated Demand Response - OpenADR Seminar”, Austin.
- [137] openADR Alliance, “OpenADR Primer”, 2014. [Online]. Available: http://www.openadr.org/assets/docs/openadr_primer.pdf. [Accessed: 15-May-2017].
- [138] M. Wu, T. J. Lu, F. Y. Ling, J. Sun, and H. Y. Du, “Research on the architecture of Internet of Things”, in *ICACTE 2010 – 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Proceedings*, 2010, vol. 5, pp. V5-484-V5-487.
- [139] D. Kyriazis and T. Varvarigou, “Smart, Autonomous and Reliable Internet of Things”, *Procedia Comput. Sci.*, vol. 21, pp. 442–448, 2013.
- [140] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, Sep. 2013.
- [141] F. Rahimi and A. Ipakchi, “Demand Response as a Market Resource Under the Smart Grid Paradigm”, *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 1, no. 1, pp. 82–88, Jun. 2010.
- [142] L. Šikšnys, C. Thomsen, and T. B. Pedersen, “MIRABEL DW: Managing Complex Energy Data in a Smart Grid BT – Transactions on Large-Scale Data- and Knowledge-Centered Systems XXI: Selected Papers from DaWaK 2012”, A. Hameurlain, J. Küng, R. Wagner, A. Cuzzocrea, and U. Dayal, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 48–72, 2015.
- [143] U. Fischer *et al.*, “Real-Time Business Intelligence in the MIRABEL Smart Grid System BT - Enabling Real-Time Business Intelligence”, pp. 1–22, 2013.
- [144] G. Escobedo, N. Jacome, and G. Arroyo-Figueroa, “Business Intelligence and Data

- Analytics (BI& DA) to Support the Operation of Smart Grid – Business Intelligence and Data Analytics (BI& DA) for Smart Grid”, *Proc. Int. Conf. Internet Things Big Data*, no. IoTBD, pp. 489–496, 2016.
- [145] T. Sueyoshi and G. G. R. Tadiparthi, “An agent-based decision support system for wholesale electricity market”, *Decis. Support Syst.*, vol. 44, no. 2, pp. 425–446, Jan. 2008.
- [146] J. Sancho, J. Sánchez-Soriano, J. A. Chazarra, and J. Aparicio, “Design and implementation of a decision support system for competitive electricity markets”, *Decis. Support Syst.*, vol. 44, no. 4, pp. 765–784, Mar. 2008.
- [147] I. Martín-Rubio, A. E. Florence-Sandoval, J. Jiménez-Trillo, and D. Andina, “From Smart Grids to Business Intelligence, a Challenge for Bioinspired Systems BT – Bioinspired Computation in Artificial Systems”, 2015, pp. 439–450.
- [148] M. Radenković, J. Lukić, M. Despotović-Zrakić, A. Labus, and Z. Bogdanović, “Harnessing business intelligence in smart grids: A case of the electricity market”, *Comput. Ind.*, vol. 96, pp. 40–53, 2018.
- [149] J. Lukic, M. Radenkovic, R. Delic, M. Jankovic, M. Zaric, and N. Totic, “Implementacija prve faze sistema poslovne inteligencije u JP Elektromreža Srbije”, in *InfoFest*, 2015.
- [150] R. Kimball, M. Ross, W. Thornthwaite, J. Mundy, and B. Becker, *The Data Warehouse Lifecycle Toolkit*. John Wiley & Sons, 2011.
- [151] BP, “BP Energy Outlook | Energy economics | BP”. [Online]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>. [Accessed: 21-Feb-2018].
- [152] D. Üрге-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, and K. Petrichenko, “Heating and cooling energy trends and drivers in buildings”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 85–98, Jan. 2015.
- [153] M. Manic, D. Wijayasekara, K. Amarasinghe, and J. J. Rodriguez-Andina, “Building Energy Management Systems: The Age of Intelligent and Adaptive Buildings”, *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–39, Mar. 2016.
- [154] E. van der Werff, J. Thogersen, and W. Bruine de Bruin, “Changing Household Energy Usage: The Downsides of Incentives and How to Overcome Them”, *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 16, no. 1, pp. 42–48, Jan. 2018.
- [155] Indeco, “Smart grid consumer engagement: lessons from North American utilities”, 2013.
- [156] U.S. Department of Energy, “Benefits of demand response in electricity markets and recommendations for achieving them”, 2005.
- [157] A. Zerrahn and W.-P. Schill, “On the representation of demand-side management in power system models”, *Energy*, vol. 84, pp. 840–845, May 2015.
- [158] M. H. Albadi and E. F. El-Saadany, “A summary of demand response in electricity markets”, *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 11, pp. 1989–1996, Nov. 2008.
- [159] B. Davito, T. Humayun, and R. Uhlener, “The smart grid and the promise of demand-side management”, 2010.
- [160] V. S. K. Murthy Balijepalli, V. Pradhan, S. A. Khaparde, and R. M. Shereef, “Review of demand response under smart grid paradigm”, in *ISGT2011-India*, 2011, pp. 236–243.
- [161] A. Saad al-sumaiti, M. H. Ahmed, and M. M. A. Salama, “Smart Home Activities: A Literature Review”, *Electr. Power Components Syst.*, vol. 42, no. 3–4, pp. 294–305, Mar. 2014.
- [162] O. Ellabban and H. Abu-Rub, “Smart grid customers’ acceptance and engagement: An overview”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, pp. 1285–1298, Nov. 2016.
- [163] M. A. H. Mondal, D. Hawila, S. Kennedy, and T. Mezher, “The GCC countries RE-readiness: Strengths and gaps for development of renewable energy technologies”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1114–1128, Feb. 2016.
- [164] E. Azar and C. C. Menassa, “A comprehensive framework to quantify energy savings

- potential from improved operations of commercial building stocks”, *Energy Policy*, vol. 67, pp. 459–472, Apr. 2014.
- [165] M. Broman Toft, G. Schuitema, and J. Thøgersen, “Responsible technology acceptance: Model development and application to consumer acceptance of Smart Grid technology”, *Appl. Energy*, vol. 134, pp. 392–400, Dec. 2014.
- [166] M. Wolsink, “The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: Renewable as common pool resources”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 822–835, Jan. 2012.
- [167] P. Ponce, K. Polasko, and A. Molina, “End user perceptions toward smart grid technology: Acceptance, adoption, risks, and trust”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 587–598, Jul. 2016.
- [168] S. Rahman and J. Loring, “Challenges Opportunities in Renewable Energy: Role of the Smart Grid”.
- [169] A. Christakopoulos and G. Makrygiannis, “Consumer Attitudes towards the Benefits provided by Smart Grid – a Case Study of Smart Grid in Sweden”, 2012.
- [170] J.-Y. Hsu and H.-L. Yen, “Customers’ Adoption Factors and Willingness to Pay for Home Energy Information Management System in Taiwan”.
- [171] A. Mengolini and J. Vasiljevska, “The social dimension of Smart Grids”, 2013.
- [172] N. M. A. Huijts, E. J. E. Molin, and L. Steg, “Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 1, pp. 525–531, Jan. 2012.
- [173] C. Perri and V. Corvello, “Smart Energy Consumers: An Empirical Investigation on the Intention to Adopt Innovative Consumption Behaviour”, *World Acad. Sci. Eng. Technol. Econ. Manag. Eng.*, vol. 2, no. 9, 2015.
- [174] C.-K. Park, H.-J. Kim, and Y.-S. Kim, “A study of factors enhancing smart grid consumer engagement”, *Energy Policy*, vol. 72, pp. 211–218, 2014.
- [175] S. Guerreiro, S. Batel, M. L. Lima, and S. Moreira, “Making energy visible: sociopsychological aspects associated with the use of smart meters”, *Energy Effic.*, vol. 8, no. 6, pp. 1149–1167, Dec. 2015.
- [176] H. C. Curtius, K. Künzel, and M. Loock, “Generic customer segments and business models for smart grids”, *der markt*, vol. 51, no. 2–3, pp. 63–74, Aug. 2012.
- [177] H.-W. Kim, H. C. Chan, and S. Gupta, “Value-based Adoption of Mobile Internet: An empirical investigation”, *Decis. Support Syst.*, vol. 43, no. 1, pp. 111–126, Feb. 2007.
- [178] T.-C. Lin, S. Wu, J. S.-C. Hsu, and Y.-C. Chou, “The integration of value-based adoption and expectation–confirmation models: An example of IPTV continuance intention”, *Decis. Support Syst.*, vol. 54, no. 1, pp. 63–75, Dec. 2012.
- [179] H.-K. Kwon and K.-K. Seo, “Application of Value-based Adoption Model to Analyze SaaS Adoption Behavior in Korean B2B Cloud Market”.
- [180] R. Wüstenhagen, M. Wolsink, and M. J. Bürer, “Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept”, *Energy Policy*, vol. 35, no. 5, pp. 2683–2691, May 2007.
- [181] B. K. Sovacool and P. Lakshmi Ratan, “Conceptualizing the acceptance of wind and solar electricity”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 5268–5279, Sep. 2012.
- [182] P. Enevoldsen and B. K. Sovacool, “Examining the social acceptance of wind energy: Practical guidelines for onshore wind project development in France”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 178–184, Jan. 2016.
- [183] S. Hanger, N. Komendantova, B. Schinke, D. Zejli, A. Ihlal, and A. Patt, “Community acceptance of large-scale solar energy installations in developing countries: Evidence from Morocco”, *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 14, pp. 80–89, Apr. 2016.
- [184] V. Venkatesh, J. Y. L. Thong, and X. Xu, “Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology”. 09. Feb. 2012.
- [185] V. Venkatesh, M. G. Morris, G. B. Davis, and F. D. Davis, “User Acceptance of

- Information Technology: Toward a Unified View”, *Source MIS Q.*, vol. 27, no. 3, pp. 425–478, 2003.
- [186] C. Wilson and H. Dowlatabadi, “Models of Decision Making and Residential Energy Use”, *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 32, no. 1, pp. 169–203, Nov. 2007.
- [187] M. Toft, “Consumer adoption of sustainable energy technology – The case of Smart Grid technology,” Aarhus University, 2014.
- [188] L. Yuexin *et al.*, “A Decision-making Model on Stage Financing for Smart Transmission Grid Investment Based on Technology Readiness”, *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 681–688, Jan. 2012.
- [189] D. Hawila, M. A. H. Mondal, S. Kennedy, and T. Mezher, “Renewable energy readiness assessment for North African countries”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 128–140, May 2014.
- [190] Z. Abdmouleh, A. Gastli, and L. Ben-Brahim, “Survey about public perception regarding smart grid, energy efficiency renewable energies applications in Qatar”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 168–175, Feb. 2018.
- [191] L. Steg, R. Shwom, and T. Dietz, “What Drives Energy Consumers?: Engaging People in a Sustainable Energy Transition”, *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 16, no. 1, pp. 20–28, 2018.
- [192] D. N. Mah, J. M. van der Vleuten, P. Hills, and J. Tao, “Consumer perceptions of smart grid development: Results of a Hong Kong survey and policy implications”, *Energy Policy*, vol. 49, pp. 204–216, Oct. 2012.
- [193] T. Krishnamurti *et al.*, “Preparing for smart grid technologies: A behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters”, *Energy Policy*, vol. 41, pp. 790–797, Feb. 2012.
- [194] G. P. J. Verbong, S. Beemsterboer, and F. Sengers, “Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy”, *Energy Policy*, vol. 52, pp. 117–125, Jan. 2013.
- [195] N. Zografakis, E. Sifaki, M. Pagalou, G. Nikitaki, V. Psarakis, and K. P. Tsagarakis, “Assessment of public acceptance and willingness to pay for renewable energy sources in Crete”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 1088–1095, Apr. 2010.
- [196] F. D. Musall and O. Kuik, “Local acceptance of renewable energy – A case study from southeast Germany”, *Energy Policy*, vol. 39, no. 6, pp. 3252–3260, Jun. 2011.
- [197] J. Swofford and M. Slattery, “Public attitudes of wind energy in Texas: Local communities in close proximity to wind farms and their effect on decision-making”, *Energy Policy*, vol. 38, no. 5, pp. 2508–2519, May 2010.
- [198] J. F. Hair, *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*.
- [199] J. F. Hair, M. Sarstedt, C. M. Ringle, and J. A. Mena, “An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research”, *J. Acad. Mark. Sci.*, vol. 40, no. 3, pp. 414–433, May 2012.
- [200] J. F. Hair, C. M. Ringle, and M. Sarstedt, “Partial Least Squares Structural Equation Modeling: Rigorous Applications, Better Results and Higher Acceptance”, *Long Range Plann.*, vol. 46, no. 1–2, pp. 1–12, 2013.
- [201] C. M. Ringle, D. Smith, and R. Reams, “Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM): A useful tool for family business researchers”, *J. Fam. Bus. Strateg.*, vol. 5, no. 1, pp. 105–115, Mar. 2014.
- [202] S. P. Gudergan, C. M. Ringle, S. Wende, and A. Will, “Confirmatory tetrad analysis in PLS path modeling”, *J. Bus. Res.*, vol. 61, no. 12, pp. 1238–1249, Dec. 2008.
- [203] M. Reimann, O. Schilke, and J. S. Thomas, “Customer relationship management and firm performance: the mediating role of business strategy”, *J. Acad. Mark. Sci.*, vol. 38, no. 3, pp. 326–346, Jun. 2010.
- [204] C. Ringle, S. Wende, and J. M. Becker, *SmartPLS 3*. 2015.
- [205] C. Fornell and D. F. Larcker, “Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error”, *J. Mark. Res.*, vol. 18, no. 1, p. 39,

- Feb. 1981.
- [206] EMS AD, “Годишњи Технички Извештај - EMC АД”, 2016.
 - [207] A. R. Khan, A. Mahmood, A. Safdar, Z. A. Khan, and N. A. Khan, “Load forecasting, dynamic pricing and DSM in smart grid: A review”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 1311–1322, Feb. 2016.
 - [208] N. D. Sintov and P. W. Schultz, “Unlocking the potential of smart grid technologies with behavioral science”, *Front. Psychol.*, vol. 6, p. 410, 2015.
 - [209] D. Ngar-yin Mah, J. M. van der Vleuten, J. Chi-man Ip, and P. Ronald Hills, “Governing the transition of socio-technical systems: A case study of the development of smart grids in Korea”, *Energy Policy*, vol. 45, pp. 133–141, Jun. 2012.
 - [210] F. Gangale, A. Mengolini, and I. Onyeji, “Consumer engagement: An insight from smart grid projects in Europe”, *Energy Policy*, vol. 60, pp. 621–628, Sep. 2013.

9. Списак слика и табела

Списак слика

Слика 1. Пример традиционалне електроенергетске мреже	8
Слика 2. Пирамида паметне мреже [9].....	13
Слика 3. Пример аутоматске мерне инфраструктуре	14
Слика 4. Пример топологије комуникационог подсистема [37].....	16
Слика 5. Пример микромреже.....	19
Слика 6. Традиционални модел и модел заснован на отвореном тржишту [61].....	22
Слика 7. Модели пословања у паметним електроенергетским мрежама [61].....	22
Слика 8. Традиционална и паметна електроенергетска индустрија [61].....	23
Слика 9. Таксономија аналитике у паметним мрежама [80].....	26
Слика 10. Екстракција и обрада података у реалном времену за паметне мреже [80].....	27
Слика 11. <i>Smart grid enabling stack</i> [97]	30
Слика 12. Капацитети по типовима генератора за њујоршки електроенергетски систем [105].....	37
Слика 13. Светска потрошња енергије по секторима [106]	39
Слика 14. Потрошња једног домаћинства током једне године [107]	39
Слика 15. Промена фреквенције при квару генератора од 2600MW [4].....	41
Слика 16. Одговор помоћних сервиса на контингентну [4].....	41
Слика 17. Рад при неконтигентним условима	42
Слика 18. Рад при угроженим условима	42
Слика 19. Помоћни сервиси	44
Слика 20. Структура капацитета једног генератора	45
Слика 21. Потражња током једног уобичајеног радног дана, са континуалном регулацијом [4]	45
Слика 22. Пример регулационе активности генератора [4]	47
Слика 23. Однос захтеване енергије преко AGC команде и ангазоване енергије [4].....	48
Слика 24. Дијаграм случајева коришћења за пословање на балансном тржишту [108]	50
Слика 25. Секвенцијални дијаграм за целокупни пословни процес пословања на балансном тржишту [108].....	53
Слика 26. Улоге које учесници на тржишту могу имати, и њихове интеракције [108]	54
Слика 27. Интеракције различитих актера на балансном тржишту [108]	55
Слика 28. Цена регулације у односу на тржишну цену и друге факторе [4].....	56
Слика 29. Цене регулације на америчким тржиштима [4]	57
Слика 30. Цене помоћних сервиса на америчким тржиштима [4].....	57
Слика 31. Пондерисане цене помоћних сервиса на Балансном тржишту Републике Србије [109].....	58
Слика 32. <i>Demand-response</i> пословне целине.....	61
Слика 33. <i>Demand-response</i> по категоријама и респонзивности [6]	63
Слика 34. Дијаграм тока пословања при имплементацији <i>demand-response-a</i> [122].....	64
Слика 35. Детаљан дијаграм тока пословања при имплементацији <i>demand-response-a</i> [122].....	65

Слика 36. Пресек крива производње и потражње [122]	71
Слика 37. Уштеда у вертикално интегрисаном окружењу [122]	72
Слика 38. Корист <i>demand-response</i> -а у вертикално интегрисаним окружењима [122]	72
Слика 39. Уштеде на тржишном окружењу [122]	73
Слика 40. Корист <i>demand-response</i> -а у тржишним окружењима [122]	74
Слика 41. Потенцијалне уштеде на NYISO тржишту [118]	76
Слика 42. Потенцијалне уштеде на PJM [118]	76
Слика 43. Модел пословања агрегатора [131]	80
Слика 44. Упоредни приказ стандардизованог и нестандардизованог пословања агрегатора <i>demand-response</i> услуга [131]	81
Слика 45. Упрошћен приказ првог модела пословања	90
Слика 46. Упрошћен приказ другог модела пословања	91
Слика 47. Упрошћен приказ трећег модела пословања	92
Слика 48. Упрошћен приказ четвртог модела пословања	93
Слика 49. Комуникациони модел [136]	94
Слика 50. Приказ једног система за <i>demand-response</i> [137]	95
Слика 51. Пример случаја коришћења OpenADR система [136]	95
Слика 52. Процес изласка на тржиште електричне енергије	96
Слика 53. Процес учешћа на тржишту електричне енергије	97
Слика 54. Пословни процес монетарне компензације корисника	98
Слика 55. Архитектура дистрибуираног система за <i>demand-response</i>	99
Слика 56. Упрошћени модел IoT система и функционалности сервиса	102
Слика 57. Упрошћена структура модела података за потребе пословне интелигенције .	104
Слика 58. Архитектура решења за пословну интелигенцију српског тржишта електричне енергије	106
Слика 59. Извештај о збирној потрошњи бројила	108
Слика 60. Извештај о ангажовању појединачних уређаја	109
Слика 61. Градивни блокови <i>smart grid</i> -а [162][168]	111
Слика 62. Теорија разумне акције [162]	112
Слика 63. Теорија планираног понашања [162]	112
Слика 64. Модел прихватања технологије [162]	113
Слика 65. Модел прихватања технологије са екстерним варијаблама [162]	113
Слика 66. Модел прихватљивости заснован на вредности [162]	114
Слика 67. Униформна теорија прихватања и употребе технологије [185]	114
Слика 68. UTAUT2 [46]	115
Слика 69. Модел за испитивање спремности за коришћење <i>demand-response</i> сервиса ...	117
Слика 70. Модел за испитивање утицаја поверења у оператора на спремност за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	118
Слика 71. Оцена утицаја интересовања за нове технологије по старосним групама	122
Слика 72. Оцена утицаја интересовања за нове технологије по радном статусу	123
Слика 73. Структурни и модел мерења латентних варијабли	124
Слика 74. Резултати примене PLS алгоритма	124
Слика 75. Резултати <i>Bootstrapping</i> -а	128

Слика 76. Поверење у оператора тржишта државну институцију – расподела по годинама	130
Слика 77. Поверење у оператора тржишта профитну институцију – расподела по годинама.....	130
Слика 78. Поверење у оператора тржишта непрофитну институцију – расподела по годинама.....	130
Слика 79. Поверење у оператора тржишта државну институцију – расподела по примањима.....	131
Слика 80. Поверење у оператора тржишта профитну организацију – расподела по примањима.....	131
Слика 81. Поверење у оператора тржишта државну организацију – расподела по радном статусу.....	132
Слика 82. Поверење у оператора тржишта непрофитну организацију – расподела по радном статусу	132
Слика 83. Поверење у оператора тржишта профитну организацију – расподела по запослењу.....	133
Слика 84. Структурни и модел мерења латентних варијабли за испитивање поверења у оператора <i>demand-response</i> сервиса	133
Слика 85. Расподела времена на које су корисници спремни да им оператор искључи клима-уређај (у процентима).....	136
Слика 86. Структура баланских група у 2016. [206].....	137
Слика 87. Структура балансне енергије у 2016. [206]	139

Списак табела

Табела 1. Поређење традиционалних и паметних електроенергетских мрежа [9][10].....	10
Табела 2. Целине паметних електроенергетских мрежа [9].....	12
Табела 3. Помоћне услуге и њихове спецификације	44
Табела 4. Поређење регулације и праћења потражње	46
Табела 5. Трошкови <i>demand-response</i> -а [122].....	67
Табела 6. Користи <i>demand-response</i> -а [122].....	69
Табела 7. Потрошња електричне енергије за PJM и NYISO регије [118]	75
Табела 8. Уштеде по уређајима на PJM тржишту [4]	77
Табела 9. Уштеде по уређајима на NYISO тржишту [118].....	77
Табела 10. Учешће <i>demand-response</i> ресурса у PJM регији [131].....	79
Табела 11. <i>Business model canvas</i> предложеног пословног модела	85
Табела 12. Индикатори за испитивање намере спремности потрошача за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	119
Табела 13. Индикатори за испитивање поверења у оператора тржишта	120
Табела 14. Демографски подаци испитаника	121
Табела 15. Мотиви за коришћење <i>demand-response</i> сервиса	122
Табела 16. Оцена валидности модела мерења латентних варијабли.....	125
Табела 17. Оцена валидности модела – <i>cross loadings</i> вредности.....	126
Табела 18. Оцена валидности модела – <i>Fornell-Larcker</i> критеријум	126
Табела 19. VIF вредности	126
Табела 20. Тестирање хипотеза.....	127
Табела 21. Опште поверење у оператора <i>demand-response</i> сервиса.....	129
Табела 22. VIF вредности структурног модела	134
Табела 23. Тестирање хипотеза.....	134
Табела 24. Мотиви за учешће у <i>demand-response</i> сервису у регулацији на горе	135
Табела 25. Мотиви за учешће у <i>demand-response</i> сервису у регулацији на доле.....	136
Табела 26. Ангажована балансна енергија на тржишту	138
Табела 27. Импликације истраживања.....	141

10. Биографија аутора

Милош Раденковић је рођен 1991. године у Београду. Основну школу „Коста Абрашевић“ и Осму београдску гимназију завршио је са одличним успехом. Основне академске студије, студијски програм „Рачунарске науке“ уписао је 2010. године на Рачунарском факултету Универзитета Унион у Београду. Студије је завршио у року са просечном оценом 9.19 са дипломским радом на тему: „Пословна интелигенција у В2В електронском пословању унутар SAP ERP система“. У школским годинама 2014/2015–2017/2018 ангажован је за извођење вежби из предмета „Складишта података“, на Рачунарском факултету Универзитета Унион у Београду. Мастер студије, на студијском програму „Електронско пословање и управљање системима“, студијска група „Технологије електронског пословања“ уписао је 2014. године. У септембру 2015. одбранио је мастер рад: „Модел електронског пословања за интелигентну регулацију фреквенције у електроенергетским системима коришћењем паметних уређаја“. Од 2015. године је студент докторских студија на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент, студијска група Електронско пословање. Области његовог научног интересовања су: електронско пословање, складишта података, пословна интелигенција, интернет интелигентних уређаја и паметне електроенергетске мреже. У овим областима објавио је више радова у монографијама, научним часописима и зборницима научних скупова националног и међународног значаја.

Од децембра 2014. запослен је у АД Електромрежа Србије (ЕМС) у Одељењу за унапређење пословног информационог система у Сектору за апликативни развој и подршку пословању као самостални инжењер пројектант информационог система. Одговоран је за одржавање и даљи развој система за пословну интелигенцију за тржиште електричне енергије.

Као руководиоца пројекта учествовао је на пројектима:

- Трећа фаза имплементације система за пословну интелигенцију у АД ЕМС (2016–2017).

Као члан пројектног тима учествовао је на следећим пројектима:

- Имплементација система за пословну интелигенцију, пословно планирање и буџетирање у ЈП ЕМС (2014–2015) – пројекат је освојио треће место на такмичењу SAP Quality Awards за најбољи пројекат у региону у категорији брзог развоја решења.

- Имплементација система за планирање и консолидацију у ЈП ЕМС, SAP BPC (2014–2015).
- Увођење система за управљање документима у ЈП ЕМС (2015).
- Друга фаза имплементације система за пословну интелигенцију у ЈП ЕМС (2015–2016).

ИЗЈАВЕ АУТОРА

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милош Раденковић

Број индекса 2015/5020

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом Модел електронског пословања за учешће потрошача на српском тржишту електричне енергије заснован на *smart grid* технологијама

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 15.05.2018.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милош Раденковић

Број индекса 2015/5020

Студијски програм Информациони системи и менаџмент

Студијска група Електронско пословање

Наслов рада Модел електронског пословања за учешће потрошача на српском тржишту
електричне енергије заснован на *smart grid* технологијама

Ментор др Александра Лабус

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањења у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 15.05.2018.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом: Модел електронског пословања за учешће потрошача на српском тржишту електричне енергије заснован на *smart grid* технологијама која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 15.05.2018

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.