



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Небојша М. Јуришевић

**СИСТЕМ ЗА ПРАЋЕЊЕ И ПРЕДВИЂАЊЕ
ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ И ВОДЕ У ЈАВНИМ
ЗГРАДАМА**

докторска дисертација

Крагујевац, 2021.



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Небојша М. Јуришевић

**СИСТЕМ ЗА ПРАЋЕЊЕ И ПРЕДВИЂАЊЕ
ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ И ВОДЕ У ЈАВНИМ
ЗГРАДАМА**

докторска дисертација

Крагујевац, 2021.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC

Nebojša M. Jurišević

**SYSTEM FOR MONITORING AND TARGETING OF
ENERGY AND WATER CONUSMPTION IN PUBLIC
BUILDINGS**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2021.

Аутор
Име и презиме: Небојша Јуришевић
Датум и место рођења: 30. 01. 1989.
Садашње запослење: Истраживач-сарадник, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
Докторска дисертација
Наслов: СИСТЕМ ЗА ПРАЋЕЊЕ И ПРЕДВИЂАЊЕ ПОТРОШЊЕ ЕНЕРГИЈЕ И ВОДЕ У ЈАВНИМ ЗГРАДАМА
Број страница: 101
Број слика: 31
Број библиографских података: 127
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК): 621:697.1
Ментор: др Душан Гордић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 5.10.2018. г.
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: 01-1/1783-10, 23.05.2019. г.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:
<ol style="list-style-type: none"> 1. др Новак Николић, ванредни професор – председник комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу 2. др Владимир Вукашиновић, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу 3. др Мирослав Кљајић, ванредни професор, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду 4. др Дубравка Живковић, научни сарадник, Институт за информационе технологије Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу 5. др Душан Гордић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Комисија за оцену и одбрану докторске/уметничке дисертације:
<ol style="list-style-type: none"> 1. др Новак Николић, ванредни професор – председник комисије, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу 2. др Владимир Вукашиновић, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу 3. др Мирослав Кљајић, ванредни професор, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду 4. др Дубравка Живковић, научни сарадник, Институт за информационе технологије Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу 5. др Арсо Вукићевић, научни сарадник, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Датум одбране дисертације:

ЗАХВАЛНИЦА

Захвалност за стручну помоћ при изради ове докторске дисертације и за труд уложен у обликовање стручне и критичке мисли у завршним радовима претходних нивоа академских студија дугујем мом уваженом ментору, проф. др Душану Гордићу.

Захвалан сам Ани Радојевић, енергетском менаџеру града Крагујевца, као и члановима Одељења за управљање пројектима и енергетску ефикасност, Градске управе за развој, на сарадњи и посредовању у успостављању комуникације са представницима јавних зграда. Такође, захваљујем се на сарадњи руководиоцима Предшколских установа „Бурђевдан“ и „Нада Наумовић“, представницима јавних комуналних предузећа „Енергетика“ д.о.о., „Водовод и канализација“, јавног предузећа „Србијагас“ и огранка Електродистрибуције Србије у Крагујевцу.

Значајну подршку при изради докторске дисертације, која се пре свега огледала у пријатној радној атмосфери и изузетно колегијалној сарадњи, пружили су ми Дубравка, Давор, Влада, Никола, Младен и Јелена, на чему им се овим путем захваљујем.

Захвалност на сарадњи при савладавању алгоритама из области науке о подацима дугујем др Арсу Вукићевићу и проф. др Мирославу Стојадиновићу.

Посебну захвалност дугујем мојим најмилијима, оцу Миловану, мајци Милени и брату Николи, који су ме кроз све године усавршавања подржавали и охрабривали. Хвала вам на свему!

*У Крагујевцу
2021. године*

Небојша Јуришевић

*Оцу Миловану
и мајци Милени*

РЕЗИМЕ

Потрошња финалне енергије у свету бележи сталан раст. Континуирано унапређење квалитета живота у развијеним земаља условило је постепено измештање тежишта потрошње енергије из области индустрије у област зграда. Чињенице да се број становника на планети увећава и да животни стандард у земљама у развоју расте указују да ће потрошња енергије у зградама постајати све присутнија тема.

Циљ ове докторске дисертације је развијање методологије за праћење и предвиђање потрошње енергије и воде у јавним зградама, при чему су очекивани резултати методологије релативно интуитивни и универзални предиктивни модели. Подаци потребни за израду предиктивних модела су прибављани у сарадњи са комуналним и јавно комуналним предузећима града Крагујевца, анкетирањем запослених и мерењима спроведеним у јавним зградама. Предиктивни модели су развијани на подскупу података за обуку а тестирани на подскупу података за тест модела.

За потребе израде предиктивних модела, примењене су и анализирани линеарне (проста линеарна регресија и вишеструка линеарна регресија) и нелинеарне методе (стабло одлучивања и вештачке неуронске мреже). Свака метода захтева посебан приступ одабира параметара који утичу на исход предвиђања.

Методе су примењене на студији случаја јавних предшколских установа. Прецизност примењених метода је посматрана за различите вредности потрошње воде, електричне и топлотне енергије. У том смислу, модели су испољавали различите предиктивне способности на целокупном скупу података, и подскуповима података који представљају различите распоне потрошњи. Иако нелинеарне методе показују већу предиктивну прецизност, на критеријуме за одабир најпогодније методе, поред свеукупне прецизности, утичу фактори као што су: број параметара потребних за формирање модела, прецизност модела у различитим распонима потрошњи и ниво стручности оног који методе примењује.

Кључне речи: газдовање енергијом, јавне зграде, предшколске установе, енергетска ефикасност, предиктивни модели

ABSTRACT

Final energy consumption records constant growth. Continuous improvement of life quality in developed countries caused the building sector to become the most demanding consumer of energy. Having that in mind, and the fact that the world population is growing while the standard of living in developing countries rise, one can assume that tasks dealing with energy consumption in buildings will become even more challenging in the future.

The goal of this dissertation is to develop the methodology for monitoring and targeting of water and energy consumption. The expected results of the methodology are relatively simple and precise predictive models. Required data for the model development was collected in cooperation with public utility services in the city of Kragujevac, and throughout interviews and measurements conducted in city public buildings. All the predictive models were developed on the training data set and verified on the test data set.

To develop different predictive models and test their precision and ease of use, linear (Simple Linear Regression and Multiple Linear Regression) and nonlinear (Decision Tree and Artificial Neural Networks) methods were applied. All the methods require different approaches to determine input attributes influencing predicting results.

The developed methodology was tested on a case study, public kindergarten buildings. The predictive precision of all the methods applied was determined for different categories of heat, electricity, and water consumption. Although nonlinear methods show better predictive precision, the criteria for optimal method selection is rather based on the possibilities for model utilization. Besides overall predictive precision, factors influencing optimal model selection are the number of input parameters, model precision for different categories of consumption, and level of expertise and experience of those utilizing the model.

Key words: energy management, public buildings, educational buildings, energy efficiency, predictive models

САДРЖАЈ

1. Увод	2
1.1. Потрошња енергије у јавним зградама.....	2
1.2. Систем енергетског менаџмента у општинама.....	5
1.3. Циљ и допринос докторске дисертације	7
2. Преглед досадашњих истраживања.....	9
3. Индикатори потрошње енергије и воде	13
3.1. Индикатори потрошње енергије.....	13
3.2. Индикатори потрошње воде	16
4. Систем за праћење и предвиђање потрошње енергије и воде	19
4.1. Линеарне предиктивне методе	21
4.1.1. Проста линеарна регресија.....	21
4.1.2. Вишеструка линеарна регресија.....	23
4.2. Нелинеарне методе	26
4.2.1. Стабло одлучивања.....	26
4.2.2. Вештачке неуронске мреже	28
5. Примена система за праћење и предвиђање енергије и воде на студији случаја	31
5.1. Предмет истраживања.....	31
5.2. Прикупљање података.....	34
5.3. Припрема података.....	38
6. Резултати предвиђања потрошње енергије и воде за студију случаја	40
6.1. Предвиђање и праћење потрошње топлотне енергије	40
6.1.1. Проста линеарна регресија.....	40
6.1.2. Вишеструка линеарна регресија.....	44
6.1.3. Стабло одлучивања.....	49
6.1.4. Вештачке неуронске мреже	53
6.2. Предвиђање и праћење потрошње електричне енергије	55
6.2.1. Вештачке неуронске мреже	58
6.3. Предвиђање и праћење потрошње воде	60
6.3.1. Проста линеарна регресија.....	60
6.3.2. Вишеструка линеарна регресија.....	61
6.3.3. Стабло одлучивања.....	65
6.3.4. Вештачке неуронске мреже	68

7. Закључак.....	71
Номенклатура	75
Литература	77
ПРИЛОГ 1	85
ПРИЛОГ 2.....	87

САДРЖАЈ ИЛУСТРАЦИЈА

Слика 1.1. Потрошња финалне енергије по секторима у земљама ЕУ28 и Србији у 2018. г.	2
Слика 1.2. Потрошња финалне енергије у Републици Србији и земљама Европске Уније у периоду од 2010 – 2018. г.	3
Слика 1.3. Потрошња енергије у јавном сектору у Републици Србији.....	3
Слика 1.4. Хијерархија спровођења међународних обавеза у области ограничења емисије гасова стаклене баште и области енергетске ефикасности.....	6
Слика 3.1. Поређење индикатора потрошње енергије у зградама предшколских установа у граду Крагујевцу (Србија) и предшколским установама у различитим климатским зонама у Европи.....	14
Слика 3.2. Примери добре праксе и остварене уштеде у потрошњи енергије након реконструкције у зградама предшколских установа	15
Слика 3.3. Дневна просечна потрошња воде по кориснику услуге и кориснику простора у предшколским установама у различитим земљама.....	18
Слика 4.1. Поступак формирања система за предвиђање и праћење воде у јавним зградама.....	20
Слика 4.2. Поступак израде модела просте линеарне регресије	23
Слика 4.3. Поступак израде модела вишеструке линеарне регресије.....	26
Слика 4.4. Шематски приказ стабла одлучивања	27
Слика 4.5. Шаблон функционисања модела вештачке неуронске мреже	29
Слика 4.6. Процес функционисања EAANN алгоритма.....	30
Слика 5.1. Зграде јавних предшколских установа у граду Крагујевцу 2020. г.....	33
Слика 5.2. Карактеристике анализираних зграда предшколских установа у граду Крагујевцу.....	34
Слика 5.3. Број анализираних месеци за сваку од зграда са доступним подацима о броју остварених месечних посета	39
Слика 6.1. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом просте линеарне регресије	41
Слика 6.2. Различити примери зависности специфичне потрошње топлоте од броја грејних степен дана.....	43
Слика 6.3. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом вишеструке линеарне регресије	48
Слика 6.4. Стабло одлучивања за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије..	50
Слика 6.5. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом стабла одлучивања (C4.5)	52

Слика 6.6. Вештачка неуронска мрежа конфигурисана за случај предвиђања потрошње топлотне енергије у предшколским установама	54
Слика 6.7. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом вештачких неуронских мрежа	54
Слика 6.8. Вештачка неуронска мрежа конфигурисана за случај предвиђања потрошње електричне енергије у предшколским установама	59
Слика 6.9. Поређење стварних и потрошњи електричне енергије предвиђених методом вештачких неуронских мрежа	59
Слика 6.10. Поређење стварних и потрошњи електричне енергије предвиђених методом вештачких неуронских мрежа	61
Слика 6.11. Поређење стварне потрошње и потрошње воде предвиђене методом вишеструке линеарне регресије	65
Слика 6.12. Стабло одлучивања потрошње воде у јавним предшколским установама.	67
Слика 6.13. Поређење стварних потрошњи и потрошње воде предвиђене методом стабла одлучивања	68
Слика 6.14. Вештачка неуронска мрежа конфигурисана за случај предвиђања потрошње воде у предшколским установама	69
Слика 6.15. Поређење стварних потрошњи и потрошње воде предвиђене методом стабла одлучивања	69

СПИСАК ТАБЕЛА

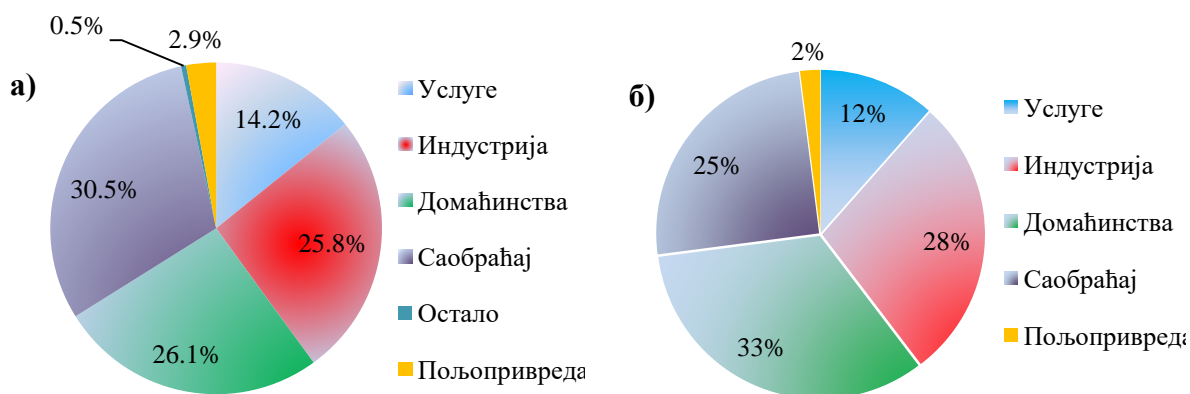
Табела 5.1. Климатске карактеристике града Крагујевац за период од 1981. до 2010. г.	31
Табела 5. 2. Термичке карактеристике зграда зиданих у Р. Србији у различитим периодима градње	32
Табела 5.3. Прибављени физички детаљи анализираних зграда	36
Табела 5.4. Прибављени подаци о потрошњи енергената и оствареном броју посета у зградама, и клими на месечном нивоу за посматрани временски период.....	37
Табела 5.5. Подаци прикупљани интервјуима и мерењима у пратњи особља вртића ...	38
Табела 6.1. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње топлотне енергије у анализираним зградама предшколских установа	40
Табела 6.2. Особине предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије	42
Табела 6.3. Корелациона матрица потенцијалних променљивих које могу имати утицај на исход предвиђања MLR модела	46
Табела 6.4. Дескриптивна статистика MLR модела	47
Табела 6.5. Особине MLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије	48
Табела 6.6. Категорије улазних и излазних променљивих модела	49
Табела 6.7. Правила одлучивања за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије	51
Табела 6.8. Матрица забуне класификације стабла одлучивања.....	52
Табела 6.9. Особине DT предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије	53
Табела 6.10. Особине DT предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије	55
Табела 6.11. Корелациона матрица потенцијалних променљивих које могу имати утицај на исход предвиђања MLR модела	57
Табела 6.12. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње електричне енергије у анализираним зградама предшколских установа.....	58
Табела 6.13. Особине ANN предиктивног модела за различите распоне потрошњи електричне енергије	59
Табела 6.14. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње воде у анализираним зградама предшколских установа	60
Табела 6.15. Особине SLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа.....	61
Табела 6.16. Корелациона матрица потенцијалних променљивих које могу имати утицај на исход предвиђања потрошње воде MLR моделом.....	63
Табела 6.17. Дескриптивна статистика MLR модела.....	64

Табела 6.18. Особине MLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа	65
Табела 6.19. Правила одлучивања за потребе предвиђања месечне потрошње воде у зградама предшколских установа	66
Табела 6.20. Особине DT предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа	68
Табела 6.21. Особине ANN предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа	70

1. Увод

1.1. Потрошња енергије у јавним зградама

Континуиран технолошки развој друштва и раст светске популације узрокују све веће потребе за енергијом. Те потребе у релативно кратким временским периодима могу имати различите трендове услед подложности утицајима као што су економске кризе, кризе у међународним односима, степен развоја економије земље, природне катастрофе и сл., али дугорочно гледано, неспорна је веза друштвеног развоја и захтева за додатном енергијом. Примера ради, у периоду 2005 – 2016. г. потрошња финалне енергије у земљама Европске уније (ЕУ28) је смањена за 7,1% [1]. Свеукупном смањењу потрошње није допринео само сектор услуга¹ који је забележио раст од 3,8% [1]. Насупрот томе, постепени опоравак европске економије допринео је повећању потрошње финалне енергије у свим секторима за 5,7% у периоду од 2017 – 2018. г. [2].

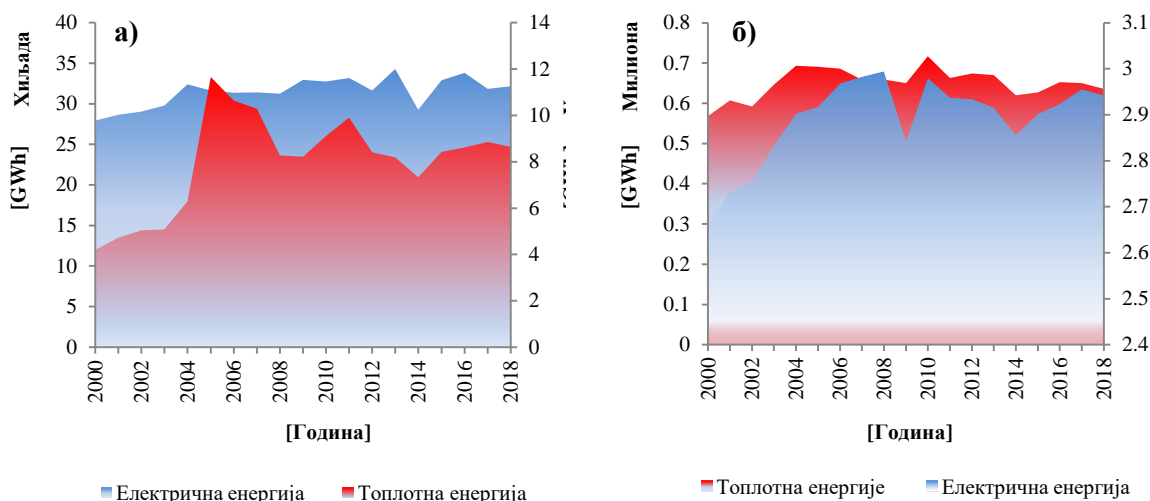


Слика 1.1. Упоредни приказ удела потрошње финалне енергије по секторима у а) земљама ЕУ28 и б) Републици Србији у 2018. г. [3] [4]

Удели потрошње финалне енергије по секторима у земљама ЕУ28 и Републици Србији су приказани на слици 1.1. У Републици Србији се у периоду 2005 – 2016. г. потрошња финалне енергије увећала за 6% (у сектору услуга чак 34%), док је свеукупно увећање у периоду од 2017 – 2018. г. износило 0,8% [4]. Засебно и дугорочно гледано, узимајући у обзир повремене прекиде у устаљеном тренду, потребе за електричном и топлотном енергијом у земљама ЕУ28 се на годишњем нивоу увећавају за око 0,5% (2000 – 2018) [3], док у Републици Србији то увећање износи 0,3% за електричном и 0,4% за топлотном енергијом (2010 – 2018. г) [4] (слика 1.2).

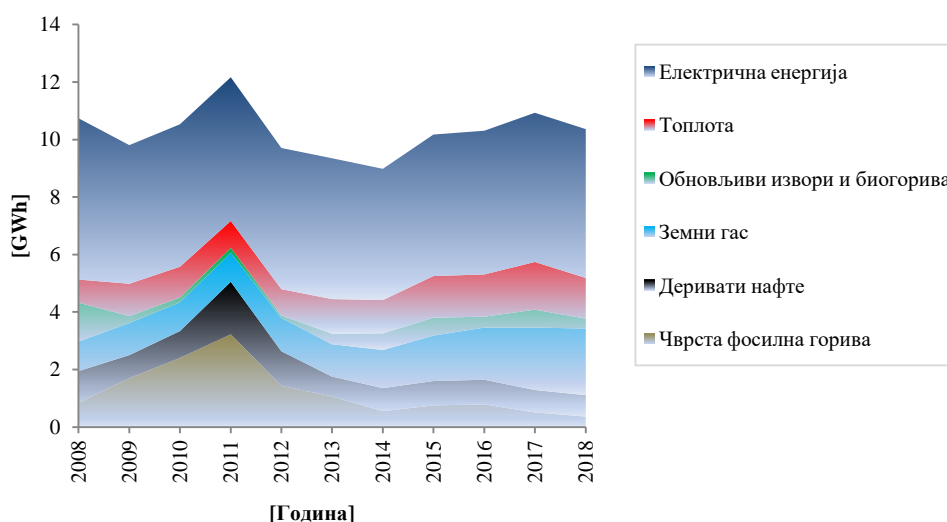
¹ Термин „сектор услуга“ представља сектор економије који се не бави производњом добара (попут индустрије и пољопривреде нпр.) већ се бави производњом услуга. Саставне целине сектора услуга су образовање, здравство, финансије, управа, транспорт и трговина [96].

(прим. аут. зависно од литературе сектор саобраћаја се може посматрати као издвојени или саставни део сектора услуга. У даљем раду, сектор услуга неће подразумевати и сектор саобраћаја).



Слика 1.2. Потрошња финалне енергије у а) Републици Србији и б) земљама Европске Уније у периоду од 2010 – 2018. г. [3] [4]

Индивидуално, највећи удео свеукупне потрошње финалне енергије у свету одлази на зграде. За потребе изградње и активности у зградама на глобалном нивоу утроши се 36% укупно произведене финалне енергије [5], а у Европи 41% [6]. Од тога на загревање стамбеног простора у Европи, зависно од географског положаја земље, одлази 60 – 80% укупне потрошње финалне енергије [7]. Посебну пажњу у том смислу привлаче зграде из сектора услуга који без обзира на трендове у другим секторима у последњих двадесет година у Европи бележи раст у потрошњи енергије. Потрошња енергије у јавном сектору Републике Србије за период од 10 година приказана је на слици 1.3.



Слика 1.3. Потрошња енергије у јавном сектору у Републици Србији у периоду од 2008. до 2018. г. [4]

У европским земљама јавне зграде² имају за 60% веће вредности специфичне испоручене енергије³ од стамбених [7], док је у Републици Србији специфична годишња потребна

² Јавне зграде подразумевају административне грађевинске објекте, објекте образовних и здравствених институција, објекте културе и спортско рекреационе грађевинске објекте.

³ Годишња потрошња финалне енергије изражена по јединици корисне површине зграде [kWh/m²/a].

топлота за грејање⁴ у јавним зградама за 50% већа него у стамбеним [8]. На основу наведеног, чињенице да се и у развијеним земљама тежиште потрошње финалне енергије постепено премешта из сектора индустрије у сектор зграда, као и процена да ће се у периоду од 2010. до 2050. г. потрошња енергије за грејање и хлађење простора у зградама на глобалном нивоу увећати за 80% [9], може се закључити да ће планови који се тичу управљања енергијом у будућности са посебном пажњом бити усмерени на зграде и стално растући сектор услуга у ком јавне зграде по потрошњи енергије заузимају значајно место. Са енергетског становишта, међу јавним зградама, зграде образовних установа имају посебан статус из три разлога:

Прво – образовне установе чине најбројнију групу јавних зграда [10] са релативно великим вредностима специфичне испоручене енергије. Због тога, финална потрошња енергије у образовним установама чини значајан удео потрошње енергије у јавним зградама. Примера ради, 61% укупних трошкова за енергију и воду у јавном сектору у граду Крагујевцу (Србија) [11], и 60% трошкова за енергију и воду у граду Инголштату (Немачка) [12] одлази на потрошњу остварену у образовним установама. Потрошње финалне енергије у образовним установама и установама културе у граду Бања Луци (Република Српска, БиХ) и граду Охриду (Северна Македонија) чине 72,5% [13] и 53,2% [14] укупне потрошње финалне енергије јавних зграда, респективно. Иако у релативно великом броју енергетских извештаја општина и градова нема детаља који се тичу потрошње енергије према типу зграда, неспорно је да образовне установе имају релативно велики утицај на свеукупне енергетске потребе јавних зграда.

Друго – према претходним студијама зграде образовних установа имају релативно велики потенцијал за остварење енергетских уштеда. Након реновирања 16 образовних установа у централној Србији вредност специфичне испоручене енергије је смањена за приближно 40% [10]. Светска Банка процењује потенцијал уштеде енергије у образовним установама у Србији на 39 – 44% потрошње остварене у 2010. г. [15]. Слично томе, потенцијал за уштеду у зградама образовних установа у Републици Бугарској је процењен на 40% [16] а у Руској Федерацији на више од 30% [16]. На основу студије случаја спроведене на примеру основне школе у Северну (Мериленд, САД) процењено је да зграда може смањити потрошњу топлотне енергије за 22% само на основу унапређења термичке изолације спољашњих зидова [17]. Потенцијали уштеда у потрошњи топлотне енергије у образовним установама у Италији процењени су на 38%, а у потрошњи електричне енергије на 46% [18]. Комбинација различитих мера за уштеду енергије у образовним установама у „С“ климатској зони Грчке⁵, допринела је уштедама од 27,78% [19]. Поред тога, постоје многи позитивни примери успешног реновирања појединачних зграда у овом сектору. Реновирање музичке академије у Дрездену (Немачка) допринело је смањењу енергетског интензитета зграде од 67% [20]. Модернизација термичког омотача две зграде предшколских установа и седам зграда основних школа у граду у југоисточној Пољској допринела је уштедама енергије од 46,8% [21]. Студија случаја спроведена на примеру две образовне установе у Лећеу (Апулија, Италија) је показала да је могуће остварити исплативо решење за уштеду енергије (од 85%) у зградама образовних установа које су у процесу прилагођавања традиционалних зграда зградама скоро нулте енергетске потрошње [22]. Овакви процеси прилагођавања захтевају укључивање обновљивих извора енергије, а аутори често деле

⁴ Годишња потрошња топлотне енергије изражена по јединици грејане површине пода зграде [kWh/m²/a].

⁵ Према регулативи о термичкој изолацији зграда у Грчкој на територији републике постоје три климатске зоне. Зона „А“ представља географске области са релативно високим температурама, зона „В“ области са умереним и зона „С“ географске области са релативно ниским температурама.

доступне податке за потребе провере и poreђења као примере добре праксе [23]. Пројекти „дубоког реновирања“ који се заснивају на примени најсавременијих технологија са циљем смањења енергетског интензитета зграда на трећину полазног, тј. смањења потрошње топлотне енергије за више од 75% су савремени изазови научних и стручних заједница које се баве школама будућности [24] [25].

Треће – унапређење стања енергетске ефикасности у јавним зградама има важну улогу у популаризацији мера ефикасног коришћења енергије у стамбеном сектору. Поред тога, образовне установе имају важну улогу у креирању свести о значају одрживог развоја код младих, где су поред школског особља и родитељи индиректно укључени у образовни процес [26]. Због свега наведеног, правовремено образовање младих о актуелним и будућим проблемима одрживог развоја, дугорочно гледано, може имати вишеструку корист по друштво у целини.

У образовном сектору, у већини земља, зграде предшколских установа⁶ имају највећи енергетски интензитет [11,12,27,28]. Разлог томе може бити специфичан дизајн зграда који је прилагођен активностима најмлађих (релативно добра природна осветљеност простора, релативно високи плафони). Насупрот другим образовним установама, зграде предшколских установа су отворене током читаве године изузев нерадним данима, који су на нивоу Републике проглашени нерадним⁷, а ради адекватне бриге о младима, комфор у овим зградама мора бити одржаван са посебном пажњом. Због свега тога, зграде предшколских установа представљају посебан изазов одељењима за управљање енергијом, а због друштвеног значаја приоритет при избору за реконструкцију.

1.2. Систем енергетског менаџмента у општинама

Са циљем да се на светском нивоу ограничи емисија гасова стаклене баште и заустави или успори процес глобалног загревања, представници влада и земаља једном годишње заседају на међународним конференцијама (Conferences of the Parties - COP)⁸ како би усагласили заједничке планове и пратили успех у остваривању већ договореног. Планови за ограничење емисије штетних гасова се доносе тако да не представљају релативно велику сметњу економском развоју земаља, а да притом дају допринос повећању енергетске сигурности, повећању стопе запослености, конкурентности производа и услуга и одрживости у коришћењу енергије. Са међународног нивоа, договорене обавезе се даље преносе на ниво међународних заједница и влада земаља и региона.

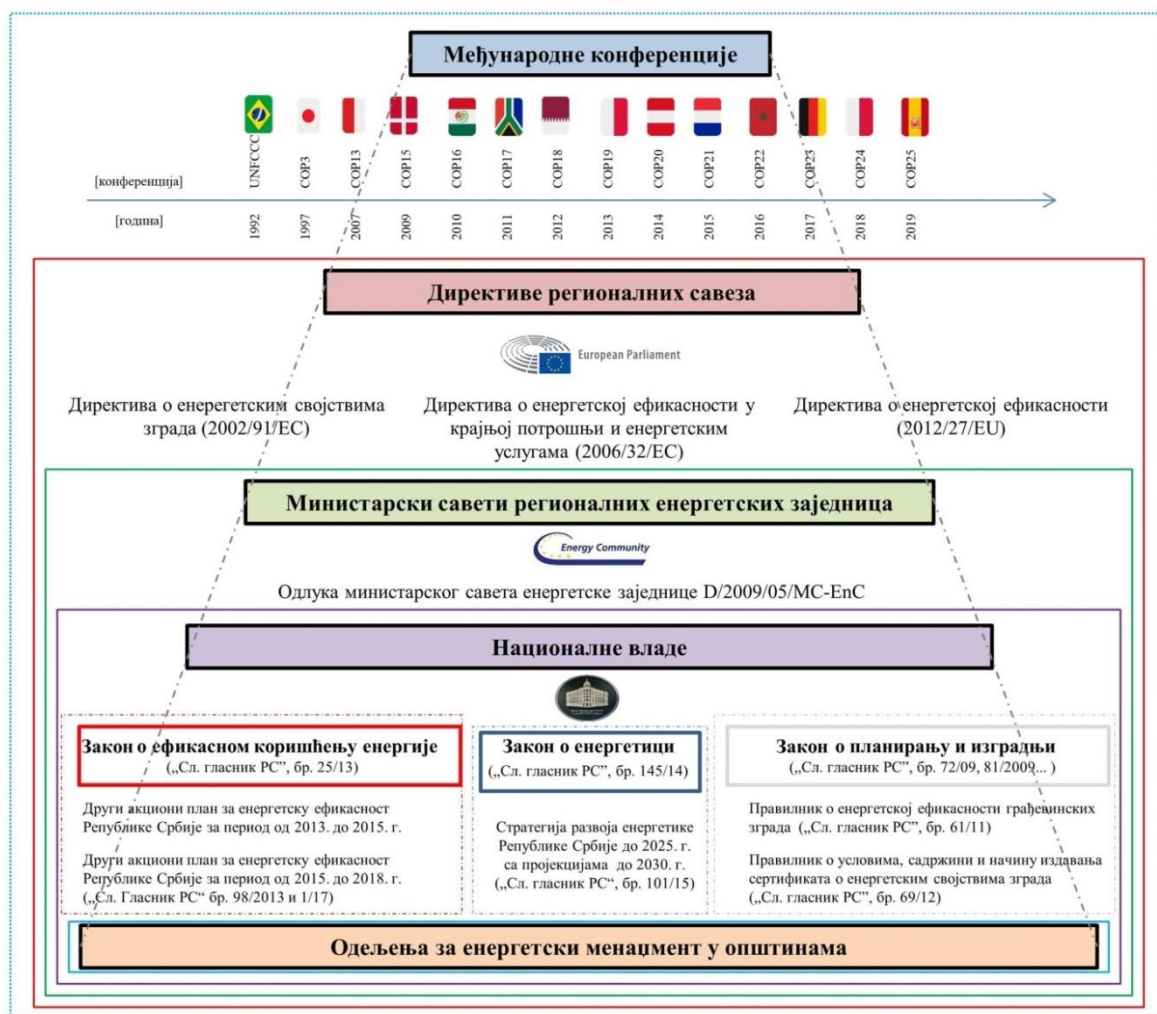
У складу са тим, Европски парламент у директиви о енергетској ефикасности у крајњој потрошњи и енергетским услугама (2006/32/EC) [29] прописује, између осталог, да државе чланице Европске Уније у периоду од девет година (2010 – 2019. г.) треба да смање потрошњу финалне енергије у земљи за 9% (или више) у односу на просечну потрошњу остварену у периоду од 2001. до 2005. г. У даљој хијерархији, одлуком

⁶ Према Закону о предшколском васпитању и образовању у Републици Србији [97] предшколски узраст подразумева узраст деце од шест месеци до поласка у основну школу. Предшколско васпитање и образовање организује се у васпитним групама које могу бити: јасле (за узраст од шест месеци до три године), вртићи (за узраст од три године до поласка у школу), припремни предшколски програм, развојне групе за децу са сметњама у развоју, васпитно-образовни рад за децу која су на болничком лечењу [98].

⁷ Државни и верски празници у складу са Законом о државним и другим празницима („Службени гласник РС”, бр. 43/01, 101/07 и 92/11) [99]

⁸ Конференција земаља потписница (COP) је међународно тело које доноси и надгледа спровођење одлука које се тичу оквирне конвенције Уједињених Нација о климатским променама [100].

министарског савета Енергетске заједнице⁹ (2009/05/МС-ЕнС) [30] Република Србија се, заједно са другим уговорним странама заједнице, између осталог, обавезала да ће у домаће законе и стратегије уврстити циљеве директиве Европског Парламента о Енергетским својствима зграда (2002/91/ЕС) [31] и директиве о енергетској ефикасности у крајњој потрошњи и енергетским услугама (2006/32/ЕС) те да ће зацртане циљеве директиве (2006/32/ЕС) о смањењу домаће потрошње финалне енергије спровести кроз три акциона плана за енергетску ефикасност [32] [33] у склопу чијих активности се деловало на увођење система енергетског менаџмента у јавним зградама.



Слика 1.4. Хијерархија спровођења међународних обавеза у области ограничења емисије гасова стаклене баште и области енергетске ефикасности.

Да би се формирао систем енергетског менаџмента у јавним зградама надлежности праћења и управљања потрошњом енергије су са нивоа министарства пренета на органе

⁹ Енергетска заједница је међународна организација основана потписивањем „Уговора о оснивању Енергетске заједнице“ 25. октобра 2005. у Атини, са циљем проширења унутрашњег тржишта енергије ЕУ на регион Југоисточне Европе и црноморски регион [101]. Уговорне стране Енергетске заједнице су: Републике: Албанија, Црна Гора, Северна Македонија, Бугарска, Румунија, Хрватска, Босна и Херцеговина, Србија, и Привремена мисија УН на Косову у складу са Резолуцијом 1244 Савета безбедности УН („Службени гласник РС”, број 62/06).

локалних самоуправа¹⁰ са преко 20000 становника [33] при чему су енергетски менаџери последња карика у хијерархији међународног садејства за смањену емисију гасова стаклене баште и повећање енергетске ефикасности јавног сектора (слика 1.4).

Значај преношења надлежности управљања потрошњом енергије са нивоа агенција и министарстава на ниво општина се огледа у томе што је на локалном нивоу лакше сагледати највеће потрошаче енергије и деловати у циљу оптимизације њихове потрошње тј. смањења емисије гасова стаклене баште. Поред тога, једноставније је успоставити директну комуникацију међу представницима локалних самоуправа, финансијских институција и приватног сектора, него индиректно посредовати преко регионалних и националних органа управе [34]. Такође, представљање резултата уштеда у потрошњи финалне енергије на републичком нивоу, занемарује појединачне примере добре праксе остварене активностима у градовима те појединачни успеси локалних самоуправа могу остати непримећени у укупном учинку сектора на регионалном или републичком нивоу.

Препреке успостављању система енергетског менаџмента у општинама, што је последња карика у хијерархији спровођења глобалних циљева, су се огледале у чињеницама да је недовољан број људи обучен за имплементацију прописа из области енергетске ефикасности, да не постоји системски приступ подизању свести и промоцији мера енергетске ефикасности јавности и да су фондови намењени унапређењу стања енергетске ефикасности у градовима релативно мали [33].

1.3. Циљ и допринос докторске дисертације

Циљ ове докторске дисертације је развијање модела који би олакшали праћење и предвиђање потрошњи енергије и воде у јавним зградама. Модел ће бити развијен на узорку васпитно-образовних установа са највећим индикаторима потрошњи енергије и воде у јавном сектору – зградама предшколских установа, на територији града Крагујевца (Србија), где јавне зграде имају већу потрошњу од очекиване. Са тим у вези, додатни циљеви дисертације су:

- одређивање фактора од утицаја на потрошњу енергије и воде за одабрану групу јавних зграда,
- јасно дефинисање компаративних предности и недостатака различитих типова предиктивних модела у области,
- формирање релативно једноставног и поузданог система за брзе процене потрошњи енергије и воде у јавним зградама.

Научни допринос дисертације се огледа у чињеници да је систем за предвиђање потрошњи енергије и воде развијен на групи образовних установа – зградама предшколских установа, које до сада, као група зграда одређене намене, нису биле предмет истраживања у области предвиђања потрошњи енергије. У том смислу, дисертација даје допринос дубљем разумевању потрошње енергије и воде у сектору јавних зграда и области енергетског менаџмента у градовима. За потребе предвиђања потрошњи, између осталог, употребљен је алгоритам вештачке интелигенције са особином аутоматског одабира променљивих који утичу на потрошњу. Употребљени

¹⁰ Према ISO/TR-14069:2013 [102], локална самоуправа је орган јавне управе одредбом закона признат као такав од стране вишег органа управе, како би уређивао општа правила, планове и захтеве у делокругу своје надлежности.

алгоритам до сада није примењиван у области предвиђања потрошњи енергије и воде у јавним зградама. Дакле, у погледу предмета и метода у истраживању, резултати дисертације дају допринос научној заједници проширивањем каталога знања у области.

Практични допринос дисертације се огледа у чињеници да развијени систем омогућава контролу потрошње енергије и воде на узорку јавних зграда са највећим индикаторима потрошњи енергије и воде у јавном сектору. Поред тога, предмет истраживања је група јавних зграда у Републици Србији (град Крагујевац) која због својих специфичности има веће индикаторе потрошње од очекиваних у поређењу са зградама исте намене у другим земљама. Систем је у могућности да са релативно задовољавајућом прецизношћу предвиди уштеде у потрошњи енергије и воде у случају реконструкције. Такође, основне особине развијаног система су брзина и једноставност. У том смислу, систем има практичан допринос у раду неексперата у области енергетског менаџмента у општинама, што је у званичним извештајима Владе Републике Србије наведено као један од проблема у напорима спровођења међународно преузетих обавеза у области енергетске ефикасности и рационализације потрошње енергије у јавним зградама.

2. Преглед досадашњих истраживања

Модели за предвиђање потрошње енергије и воде су нашли примену у енергетском менаџменту у различитим секторима финалне потрошње енергије. Без обзира на сектор у ком се примењују, улога предиктивних модела је да допринесу и олакшају поступак доношења одлука у управљању процесима и организацији активности, да правовремено упозоре на свако неочекивано понашање система и помогну планирање буџета.

Поређење предиктивних прецизности различитих модела захтева посебну пажњу, јер прецизност зависи од предмета истраживања, доступности података, сложености процеса чији се исход предвиђа и сл. Компаративну анализу је, због тога, могуће правити само за исте или сличне предмете истраживања. Једна од ставки описа модела приликом такве компарације подразумева извештај о броју предиктивних променљивих¹¹ укључених у модел. Уз то, прецизност предвиђања се приказује изразима као што су: коефицијент детерминације (R^2)¹², средња апсолутна грешка (MAE)¹³ средња процентна грешка (MPE)¹⁴, средња апсолутна процентна грешка (MAPE)¹⁵, и/или средња квадратна грешка (MSE)¹⁶.

Carozzoli A. и остали су у истраживању које се тиче предвиђања потрошње топлотне енергије у школама [35] развили модел заснован на примени вишеструке линеарне регресије (MLR). За те потребе аутори су користили 9 улазних променљивих (које описују физичке карактеристике зграде, систем грејања и климатске услове) на узорку од 80 зграда у северној Италији. Модел је у случају најбољег предвиђања потрошњи топлотне енергије правио грешку од 1%, а у случају најслабијег грешку од 40%. Просечна грешка модела на свеукупном узорку анализираних зграда износи око 15% док је коефицијент детерминације тест модела ($R^2=0,86$). Истим коефицијентом детерминације је резултовала и метода стабло одлучивања (Decision Tree) са пет улазних променљивих.

Са намером да развију предиктивни модел потрошње топлотне енергије за потребе енергетског менаџмента у зградама у граду Штутгарту (Немачка), Beusker E. и остали су применили MLR методу на зграде образовних установа пратећи 5 улазних променљивих [36]. Релативно ниска вредност коефицијента детерминације (0,6) добијеног модела се може оправдати чињеницом да су за потребе израде модела праћени параметри различитих типова зграда (основних школа са физкултурним салама, средњих школа са затвореним пливачким базенима и сл.).

¹¹ Предиктивна променљива (у литератури присутна и као: варијабла, улазна варијабла, атрибут, параметар [103]) представља независну променљиву која утиче на резултат предвиђања (зависну променљиву или излаз) [104].

¹² R^2 – у научној литератури ознака за коефицијент детерминације. Представља количник разлике суме квадрата предвиђене и средње предвиђене вредности, и разлике квадрата стварних вредности и средњих стварних вредности [105].

¹³ MAE – у научној литератури акроним за „Mean Absoulute Error“ тј. средњу апсолутну грешку. Представља средњу апсолутну вредност разлика стварних и предвиђених вредности исхода [106].

¹⁴ MPE – у научној литератури акроним за „Mean Percentage Error“ тј. средњу процентну грешку. Представља средњу вредност разлика стварних и предвиђених вредности изражених у процентима [107].

¹⁵ MAPE – у научној литератури акроним за „Mean Absoulte Percentage Error“ тј. средњу апсолутну процентну грешку. Представља средњу вредност апсолутних разлика стварних и предвиђених вредности изражених у процентима [108].

¹⁶ MSE – у научној литератури акроним за „Mean Squared Error“ тј. средњу квадратну грешку. Представља средњу вредност суме квадратних разлика стварних и предвиђених вредности [109].

Да би пронашли компромис између једноставности и прецизности модела за предвиђање потрошње енергије у зградама у банкарском сектору Arnada A. и остали су развили три MLR модела пратећи 7 променљивих на узорку од 55 зграда у Шпанији [37]. Електрична енергија се у анализираним зградама користи за напајање електричних уређаја и за потребе грејања и хлађења. Развијени предиктивни модели су резултовали коефицијентима детерминације од 0,57, 0,65 и 0,69.

Amber K. P. и остали су применили регресиони модел са 5 променљивих како би направили поуздан систем за предвиђање потрошњи електричне енергије у згради универзитетског кампуса у Лондону (Велика Британија) [38]. Модел је резултовао коефицијентом детерминације од 0,89. Слично томе, MLR модел развијен за предвиђање потрошње природног гаса и електричне енергије у супермаркету у северној Енглеској резултовао је предиктивном прецизношћу са коефицијентом детерминације од 0,95 за случај потрошње електричне енергије, и 0,86, за случај потрошње природног гаса.

Katalina T. и остали су применили модел линеарне регресије са три променљиве да би развили систем за предвиђање потрошњи топлотне енергије у стамбеним зградама [39]. Предикције статистичког регресионог модела су упоређене са резултатима динамичке симулације потрошње топлотне енергије станова у 17 стамбених блокова, при чему је постигнут коефицијент детерминације од 0,987 и MAE од 9,303.

Са намером да развију ефикасан и прецизан модел за предвиђање енергетског оптерећења у стамбеним зградама Nilashi M. и остали су применом EM-PCA-ANFIS¹⁷ методе машинског учења са 7 улазних променљивих развили систем који је резултовао средњом апсолутном грешком од 0,16 (MAPE 1,39%), за потребе предвиђања оптерећења топлотне енергије, и 0,52 (MAPE 2,45%), за случај предвиђања расхладног енергетског оптерећења [40]. Прецизност предвиђања ове методе је упоређена са предикцијама још 7 метода машинског учења (SVR¹⁸, ANFIS¹⁹, NN²⁰, CART²¹, MLR, PCA-ANFIS²², EMARS²³), при чему се новоразвијени систем показао као најпрецизнији.

Како би направили систем за предвиђање специфичне испоручене енергије стамбеним зградама, Yu Z. и остали су применили методу стабла одлучивања са 10 променљивих на узорку од 67 зграда у 6 различитих дистриката у Јапану [41]. Модел је постигао релативно задовољавајући коефицијент детерминације од 0,92, а аутори посебно истичу

¹⁷ EM-PCA-ANFIS – у научној литератури акроним за комбиновану методу – „Expectation Maximization – Principal Component Analysis – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System“. Комбиновану методу чини метода максимизације очекиване вредности „EM“ (Expectation Maximization) за кластеровање, метода анализе главних компоненти „PCA“ (Principal Component Analysis) за отклањање шума и Неуро-фази адаптивни систем закључивања (ANFIS) за потребе предвиђања.

¹⁸ SVR – у научној литератури акроним за методу „Support Vector Regression“ тј. подржана векторска регресија.

¹⁹ ANFIS – у научној литератури акроним за методу „Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System“ тј. неуро-фази адаптивни систем закључивања.

²⁰ NN – у научној литератури акроним за методу „Neural Networks“ тј. неуронске мреже.

²¹ CART – у научној литератури акроним за методу „Classification and Regression Tree“ тј. класификационо и регресионо стабло.

²² PCA-ANFIS – у научној литератури акроним за комбиновану методу “Principal Component Analysis – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System”. PCA – ANFIS представља комбинацију две методе, метода анализе главних компоненти „PCA“ (Principal Component Analysis) за отклањање шума и Неуро-фази адаптивни систем закључивања (ANFIS) за потребе предвиђања.

²³ EMARS – у научној литератури акроним за „Evolutionary Multivariate Adaptive Regression Splines“ тј. еволутивне вишеструке адаптивне регресионе линије.

предности методе које се тичу интерпретабилности, једноставности и особине да функционише са категоричким вредностима.

Jovanović R. и остали су применили три различита алгорита вештачких неуронских мрежа (FFNN²⁴, RBFN²⁵, ANFIS) за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије у 35 зграда универзитетског кампуса у Глосхаугену у Норвешкој [42]. Предвиђања су рађена за најхладнији период године од 1. јануара до 31. марта и од 1. новембра до 31 децембра, од 2009. до 2011. г. Како би испитали утицај броја променљивих на прецизност модела аутори су посматрали три случаја са различитим бројем улаза (са три, са седам и са свим расположивим променљивим). Поред тога, аутори су испитали прецизност комбиноване методе (комбинујући три засебна алгорита у један систем за предвиђање). У раду се истиче значај комбинације различитих алгорита за потребе прецизног предвиђања, као и задовољавајућа прецизност метода за сваки од три наведена случаја. Добијене вредности MAPE за FFNN се крећу од 5,2 до 5,8%, за RBFN 5,4 – 6%, за ANFIS 5,4 – 5,8% и за комбиновани алгоритама 5,1 – 5,9%.

Са циљем да се направи прегледно истраживање које ће пружити јасан увид у постојеће типове зграда предшколских установа и омогућити боље процене потрошњи енергије на нивоу Републике Србије, представници Немачке организације за међународну сарадњу (GIZ) заједно са Архитектонским факултетом у Београду су израдили националну типологију зграда предшколских установа у Републици Србији [43]. Израђена типологија треба да омогући процене потенцијалних уштеда енергије у случају реконструкције, потенцијалне сценарије за уштеду енергије у зградама различитог типа и идентификацију типова зграда који могу бити сматрани приоритетима за реконструкцију. Како би извршили адекватну класификацију зграда направљена је матрица која анализиране вртиће групише на основу две категорије: површине корисног простора зграде и периода градње зграде [44]. Све анализиране зграде су на основу корисне површине разврстане у три категорије: са површином мањом од 500 m², 500 – 2000 m² и преко 2000 m². Због тога што је највећи део анализираних зграда изграђен у 4 различита периода градње (пре 1945., 1946–1970., 1971–1990. и након 1990. г.) матрица разматра само те периоде градње. Такође, N. Ćuković Ignjatović и остали препоручују да би архитектонске карактеристике појединих зграда из периода 1971–1990. требало да буду детаљније испитане [44].

Да би креирали алгоритама за предвиђање потрошње воде у предшколским установама и основним школама у граду Кампинасу у Сао Паолу у Бразилу, Пиа М. и остали су применили методу вишеструке линеарне регресије на узорку од 122 зграде пратећи промене две независне и три трансформисане променљиве (изведене од две или више променљивих), при чему је испитан утицај 15 променљивих на потрошњу воде (зависно променљиву) [45]. Добијени коефицијент детерминације модела је 0,67. Аутори истичу да је одабир параметара корак од изузетног значаја при прављењу предиктивног модела. У том смислу наглашавају да је за случај предвиђања потрошње воде потребно посебно обратити пажњу на тип потрошача (узраст) и климатске услове регије.

Како би испитали утицај социоекономског статуса потрошача и конструкционих карактеристика зграда на потрошњу воде у стамбеном сектору у граду Жоинвилу у Санта

²⁴ FFNN – у научној литератури акроним за „Feed Forward Backpropagation Neural Network“ тј. вештачку неуронску мрежу са повратним простирањем грешке.

²⁵ RBFN – у научној литератури акроним за „Radial Basis Function Network“ тј. вештачку неуронску мрежу са радијално базисним функцијама.

Катарини у Бразилу, Dias T. и остали су применили вишеструку линеарну регресију са 9 променљивих за потребе израде предиктивног модела потрошње, на узорку од 89 зграда (3171 стамбена јединица) [46]. Модел је резултовао коефицијентом детерминације од 0,87 за случај предвиђања потрошње воде у стамбеним зградама и коефицијентом детерминације од 0,8 за случај предвиђања потрошње воде по кориснику. Аутори наглашавају да овакви модели могу допринети дубљем разумевању узрока који утичу на потрошњу воде у стамбеним зградама. Поред тога, модели за предвиђање потрошње воде могу допринети усвајању јавних политика које омогућавају стварање одрживог друштва, разумевању утицаја сезонских промена и значају редовног одржавања водоводног система на потрошњу воде.

До сада, на подручју западног Балкана није било доступних научних истраживања која су се бавила овом темом. На основу резултата доступних научних истраживања може се закључити да је процес предвиђања потрошње енергије и воде у зградама изазован и популаран научни задатак.

Пратећи закључке доступне научне литературе, основне претпоставке од којих се може поћи при изради ове дисертације су:

- Израда модела за предвиђање потрошњи енергије и воде за различите типове јавних зграда доприноси дубљем разумевању потрошње енергије и воде у јавном сектору као целини и његовим појединачним деловима.
- У настојањима да се смањи потрошња енергије у јавном сектору, имајући у виду однос индикатора потрошње енергије у земљи и иностранству, може се очекивати да процес оптимизације почне од предшколских установа.
- Различите методе за предвиђање потрошњи енергије и воде у зградама имају различите предиктивне прецизности.
- Линеарне и нелинеарне методе могу дати релативно прецизне и брзе моделе за предвиђање потрошњи енергије и воде у зградама.
- Модели за предвиђање потрошње енергије и воде могу помоћи енергетским менаџерима и неекспертима у области енергетског менаџмента у општинама у доношењу одлука и планирању буџета, послужити као контролни механизам за правовремено откривање хаварија и кварова у систему и брзо и једноставно проценити потенцијале уштеда зграда у случају реконструкције зграде или промене режима активности у згради.

Овај рад ће се у наредним поглављима бавити питањем прецизности различитих предиктивних метода на узорку јавних предшколских зграда – предшколских установа.

3. Индикатори потрошње енергије и воде

3.1. Индикатори потрошње енергије

Да би било могуће поредити потрошњу финалне енергије у зградама исте или сличне намене а различитих карактеристика (број корисника, спратност, стање омотача и сл.), потребно је дефинисати одговарајуће показатеље (индикаторе). Индикатор може бити изражен према јединици која представља грађевинске детаље зграде (константне вредности), или описује активности у згради (променљиве вредности). Најчешће присутан индикатор потрошње електричне енергије у научној литератури је годишња утрошена енергија изражена по јединици корисне површине зграде ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$). Потрошњу топлотне енергије у зградама описују индикатори који могу бити изражени по јединици корисне или грејане површине пода ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$) [18,47,48], или кубном метру грејаног простора ($\text{kWh}/\text{m}^3/\text{a}$) [49,50]. У случају јавних објеката, Корисна површина пода је најчешће једнака грејаној, те се у наставку рада ова два индикатора поистовећују. Са друге стране, у енергетским извештајима који се баве потрошњом топлотне и финалне енергије у јавним зградама [11] често се срећу индикатори изражени према годишње променљивим вредностима, као што су нпр. број корисника услуге²⁶ („ $\text{kWh}/\text{user}/\text{a}$ “) и број корисника простора²⁷ („ $\text{kWh}/\text{occupant}/\text{a}$ “). Последња група индикатора је посебно фаворизирана у финансијским извештајима административних одељења јер омогућава свођење годишњих трошкова зграде или активности у згради по укупном броју корисника или броју корисника услуга ($\text{€}/\text{occupant}/\text{a}$) и ($\text{€}/\text{user}/\text{a}$), респективно). Иако су оба индикатора изражена према константним вредностима подједнако заступљена у литератури, истраживање приказано у даљем раду ће користити индикаторе изражене према јединици грејане површине пода ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$) као фактору од највећег утицаја на потрошњу топлотне енергије који омогућава релативно једноставно описивање и поређење потрошњи енергије међу зградама истог типа (у овом случају – образовним установама предшколског типа).

3.1.1. Поређење индикатора потрошњи енергије

Поређењем индикатора потрошњи финалне енергије у зградама истог типа може се направити шири увид у стање енергетске ефикасности зграда у различитим регионима. На основу тог поређења могуће је увидети примере добре праксе у неким регионима, и потребе за унапређење стања енергетске ефикасности појединих зграда у другим. Иако поређење индикатора потрошњи енергије у зградама истог типа може дати одређене закључке, детаљно тумачење закључака захтева додатну пажњу јер на потрошњу енергије у згради, поред грађевинско-архитектонских детаља, могу утицати и фактори као што су климатске и микроклиматске одлике географске регије и организација дневних активности у згради.

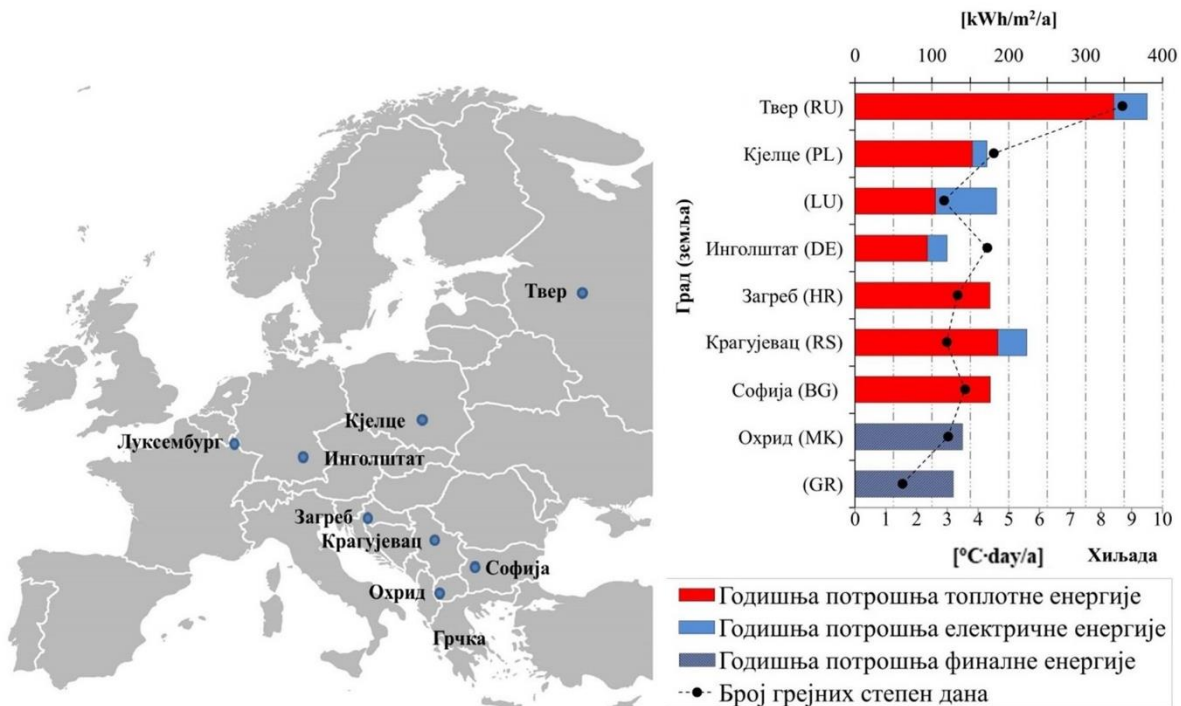
Са једне стране постоје студије које покушавају да превазиђу овај проблем тзв. нормализацијом²⁸ потрошње енергије [27] [51], док са друге стране постоје студије које

²⁶ Број корисника услуге у јавној згради подразумева просечну дневну посету јавној згради остварену од стране корисника услуге.

²⁷ Број корисника простора у јавној згради подразумева просечно дневно присуство запослених у јавној згради и просечну дневну посету остварену од стране корисника услуге.

²⁸ Климатска нормализација подразумева изражавање специфичне потрошње енергије зграда по грејном степен дану ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{a}/(\text{K}\cdot\text{day})$) [27]. На тај начин климатски фактор је укључен у прорачунавање

тврде да нормализација прикрива реално стање потрошње и да због тога може да створи више проблема него што их реши [52]. Са циљем да се стекне реална представа о потрошњи енергије у зградама предшколских установа кроз различите регије, на слици 3.1 су приказани стварни индикатори потрошње енергије (топлотне, електричне и финалне) предшколских установа у различитим градовима Европе. Како би се стекао бољи увид у очекивано стање потрошњи по регијама, индикатори нису нормализовани, а градови су одозго на доле поређани према географским ширинама које заузимају, и то од географског севера (влажна континентална клима) ка географском југу (умерено медитеранска клима).



Слика 3.1. Поређење индикатора потрошње енергије у зградама предшколских установа у граду Крагујевацу (Србија) и предшколским установама у различитим климатским зонама у Европи²⁹

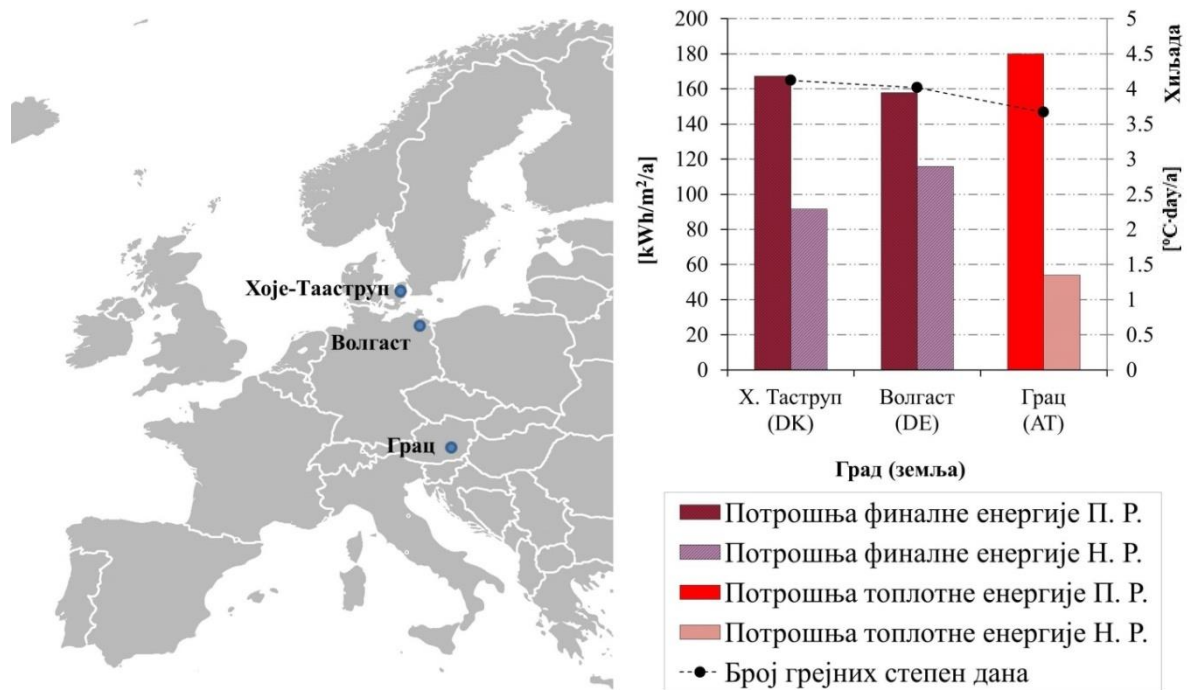
За очекивати је да се потрошња специфичне топлотне енергије смањује крећући се од географског севера, ка географском југу, изузев у случајевима када би посебне микроклиматске карактеристике градова (надморска висина, присуство већих водених површина, окруженост планинским масивима, ружа ветрова и сл.) могле да утичу на повећану потрошњу топлотне енергије. Потенцијални утицај карактеристика микроклиме је представљен бројем грејних степен дана приказаних на другој оси дијаграма. Према индикаторима специфичне потрошње топлотне енергије може се видети да предшколске установе у граду Тверу (Русија), најсевернијем анализираном граду, имају највишу потрошњу финалне енергије (380 kWh/m²/a топлотне и 337 kWh/m²/a електричне енергије) [53]. Са смањењем географске ширине смањује се

индикатора специфичне потрошње, што омогућава поређење ефикасности зграда у различитим климатским и микроклиматским зонама.

²⁹ Називи држава на дијаграму су приказани двословним кодом у складу са Међународним стандардом за двословне кодове држава, зависних територија и географских регија од посебног значаја *ISO 3166-1 alpha 2* [110].

вредност специфичне потрошње топлоте па је она у граду Кјелцеу (Пољска) 172 kWh/m²/a [54], у Луксембургу 104,86 kWh/m²/a [55], у Инголштату (Немачка) 94 kWh/m²/a [12], све до градова балканских бивших социјалистичких земаља: Загреб (Хрватска) 175,7 kWh/m²/a [56], Софија (Бугарска) 176 kWh/m²/a [28] и Крагујевац (Србија) 186 kWh/m²/a [11]. Зграде у најјужније анализираним областима имају за 40% – 50% нижу потрошњу финалне енергије од оне у Крагујевцу. Примера ради, средња вредност потрошње финалне енергије у зградама предшколских установа у Охриду (Македонија) је 140 kWh/m²/a, а у Грчкој 128 kWh/m²/a [57]. Према наведеном, може се закључити да зграде предшколских установа у Крагујевцу, и региону уопште, имају већу потрошњу топлотне енергије од очекиване. Подаци који се тичу потрошње електричне енергије у предшколским установама на различитим локацијама у Европи (слика 3.1) не дозвољавају доношење одговарајућих закључака.

Зграде предшколских установа са потрошњом финалне енергије од 167 kWh/m²/a у Хоје-Тааструпу (Данска) [58], 158 kWh/m²/a у Волгасту (Немачка) [59], и 180 kWh/m²/a у Грацу (Аустрија) [60] се сматрају приоритетима за реконструкцију. Уштеда остварена реконструкцијом зграде у Грацу (70%) може послужити као пример добре праксе. Индикатори потрошње енергије пре и после реконструкције зграда у поменутиим градовима су приказани на дијаграму на слици 3.2.



(напомена: П.Р. – пре реконструкције, Н.Р. – након реконструкције)

Слика 3.2. Примери добре праксе и остварене уштеде у потрошњи енергије након реконструкције у зградама предшколских установа

На основу наведеног се може закључити да у образовним, пре свега у предшколским установама, има потенцијала за повећање енергетске ефикасности, што би се одразило на свеукупно смањење потрошње енергије у јавном сектору.

3.2. Индикатори потрошње воде

Убрзани процеси урбанизације³⁰ и постепено увећање светске популације стварају додатне захтеве који се тичу доступности воде у градовима, поготову у земљама у развоју [61]. Са тим у вези, ефикасно располагање водом се не тиче само потрошње воде као ресурса, већ и потрошње електричне енергије потребне за њену припрему, транспорт и прераду као отпадне воде.

Примера ради, процењује се да се око 30% цене за утрошену пијаћу воду односи на трошкове електричне енергије потребне за њену адекватну припрему и третман [62]. Квантитативно, на процес припреме и третмана пијаће воде, и њене накнадне обраде као отпадне воде, у Шпанији се утроши 3 kWh/m³ електричне енергије [63], у Јужној Калифорнији 2,9 kWh/m³ [64], у Немачкој 2,6 kWh/m³ [65], у Ослу (Норвешка) 1,25 kWh/m³ [65]. Потребно је напоменути да на енергију потребну за адекватан третман вода утичу географске карактеристике локалитета где се вода транспортује (конфигурација и удаљеност терена на који се вода транспортује, разлике у надморским висинама и сл.) и биохемијске карактеристике које се односе на стање у ком се вода налази пре третмана. Поред тога, на потрошњу пијаће воде на одређеном локалитету утичу фактори као што су климатски услови, културолошки фактори, навике у исхрани, радно окружење, друштвено-економске прилике и сл. [66]. Међутим, невезано за факторе који утичу на потрошњу, чињеница је да нерационална потрошња пијаће воде узрокује и нерационалну потрошње енергије.

Због свега наведеног, потрошња воде у образовним предшколским установама има посебан значај из два разлога:

Прво – међу јавним зградама, образовне установе (уз здравствене) спадају у групу највећих потрошача воде по кориснику. Примера ради, зграде образовних установа у граду Болоњи (Италија), на годишњем нивоу, чине 20% укупног удела потрошње пијаће воде у граду, од чега највише одлази на образовне установе нижег образовног нивоа [67]. У граду Крагујевцу (Србија) потрошња воде у образовним установама чини 51% потрошње пијаће воде у јавном сектору, у граду Инголштату (Немачка) 40%, при чему је потрошња воде по кориснику у предшколским установама за 49% већа него потрошња у образовним установама вишег нивоа [12]. Због свега тога, зграде образовних установа захтевају посебну пажњу када је у питању праћење потрошње воде и предлагање мера за њено рационално коришћење.

Друго – цена за утрошену воду у јавним зградама не представља директно финансијско оптерећење корисницима простора. У том смислу, подизање свести младих о значају рационалног располагања водом превазилази осећај личних интереса који могу бити један од мотива рационалног понашања у домаћинствима и спадају у етички домен бриге о стању друштва чије правовремено формирање може имати позитиван ефекат на пуну изградњу свести о значају одрживог развоја.

³⁰ Према истраживању Одељења за економију и друштвена питања Уједињених Нација [111], 2018. г. 55% светске популације је насељавало градове. Истраживање процењује да ће се до 2050. г. удео становника у градовима увећати на 68%.

Одређивање индикатора потрошње пијаће воде у зградама и дефинисање мера за њену рационалну потрошњу се често занемарују у енергетским прегледима зграда³¹ [63]. Са једне стране, део енергетских извештаја не посматра потрошњу воде као проблем потрошње финалне енергије у зградама. Са друге стране, директива Европског парламента (2012/27/EU) [68] не прецизира финалну енергију као једини вид извештавања по ком енергетски прегледи треба да буду рађени. Штавише, према директиви, пажња прегледа треба да буде усмерена на деловања која могу допринети свеукупном смањењу потрошње енергије. У том смислу, разлика међу извештајима се огледа у томе да ли сагледавају ужу (потрошња финалне енергије) или ширу слику проблема (која укључује и потрошњу воде).

3.2.1. Поређење индикатора потрошње воде

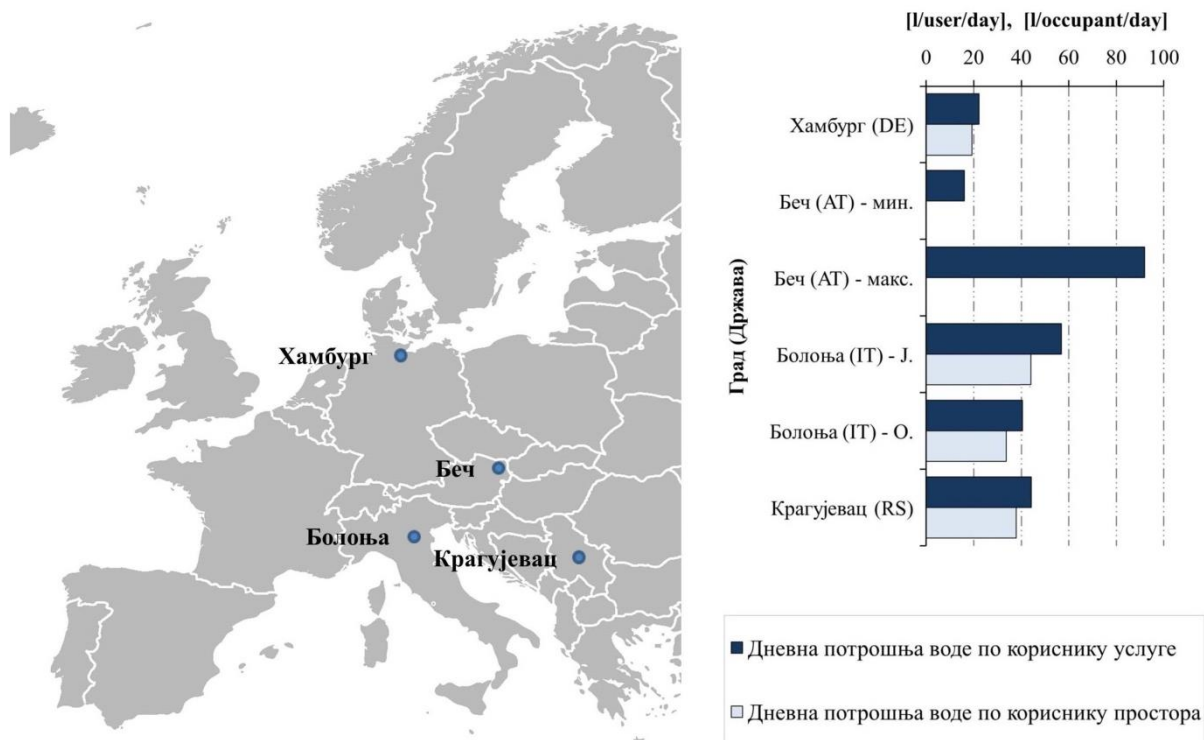
У научним радовима и стручним извештајима који се баве потрошњом пијаће воде у зградама користе се индикатори потрошње који се могу поделити у две групе. Прва група индикатора изражава усредњену вредност потрошње воде у зградама према дневној или годишњој потреби корисника услуге ($(l/user/a)$ и $(m^3/user/a)$, респективно) или корисника простора ($(l/occupant/day)$ и $(m^3/occupant/a)$, респективно). Друга група индикатора представља годишњу потрошњу воде по јединици површине корисног простора зграде ($(l/m^2/a)$ или $(m^3/m^2/a)$, зависно од типа зграде). Како на потрошњу воде у јавним зградама примарно утиче број корисника, може се рећи да је за поређење потрошње пијаће воде међу зградама истог типа у овом сектору погоднија прва наведена група индикатора. За случај поређења потрошње пијаће воде у зградама различитих намена може се користити индикатор изражен преко корисне површине простора, како би се направила адекватна разлика потрошњи међу различитим типовима зграда.

Како би се створили одговарајући услови за доношење објективних закључака урађен је преглед потрошњи пијаће воде у зградама исте намене у сектору јавних зграда - предшколским установама. Преглед стања потрошње пијаће воде (слика 3.3) је изражен индикаторима који су сведени према броју корисника простора ($l/occupant/day$) и броју корисника услуге ($m^3/user/day$). Индикатори потрошње воде у предшколским установама у Хамбургу (Немачка)³² су $22,2 l/user/day$ тј. $19,2 l/occupant/day$ [69]. Петогодишње истраживање спроведено на узорку образовних установа у граду Болоњи (Италија) показало је да је просечна потрошња воде $56,9 l/user/day$, тј. $43,5 l/occupant/day$ у јаслицама, и $40,6 l/user/day$ тј. $33,6 l/user/day$ у вртићима [67]. Предшколске установе мешовите намене (јаслице и вртићи) у Крагујевцу (Србија) имају потрошњу пијаће воде од $44,3 l/user/day$ тј. $37,9 l/occupant/day$. Иако је релативно битно имати увид у индикаторе потрошњи воде у другим зградама истог типа, резултате потрошњи треба тумачити са посебном пажњом. Релативно високе вредности индикатора не морају бити последица нерационалне потрошње, док релативно ниске вредности специфичне потрошње не морају да значе одсуство комфора. На вредности потрошње утиче начин организације активности у зградама, стање техничке опреме и водоводних инсталација, потребе за заливањем зелених површина, одржавање пливачког базена и сл. Према томе, индикатори потрошње воде могу значајно да се разликују и за зграде истог типа у истом

³¹ Према директиви Европског парламента о Енергетској ефикасности (2012/27/EU) [68] енергетски преглед се дефинише као: „Сваки системски поступак за прикупљање потребних знања о профилу постојећих енергетских потрошњи зграде или групе зграда, индустријског или комерцијалног процеса или постројења, и приватне или јавне услуге, утврђивање и квантификовање трошкова за повећање ефикасности и извештавање о резултатима“.

³² Индикатор годишње потрошње воде [69] је сведен на индикатор дневне потрошње у складу са бројем радних дана у Савезној Републици Немачкој.

граду. Примера ради, потрошња воде у различитим зградама вртића у Бечу (Аустрија) има вредности од 16 до 92 l/user/day [69]. Поред тога, потрошња воде у истој згради може да варира од месеца до месеца у току године.



Напомена: мин. – најнижа просечна потрошња, макс. – највиша просечна потрошња, Ј – јасле, О – обданишта

Слика 3.3. Дневна просечна потрошња воде по кориснику услуге и кориснику простора у предшколским установама у различитим земљама

4. Систем за праћење и предвиђање потрошње енергије и воде

Поступак формирања система за предвиђање и праћење потрошње енергије и воде (слика 4.1) подразумева деловање у пет корака:

- 1) прикупљање и обрада података,
- 2) припрема података за примену у различитим моделима за предвиђање,
- 3) одабир различитих линеарних и нелинарних статистичких метода за потребе предвиђања потрошње енергије и воде у јавним зградама,
- 4) одабир параметара који утичу на исход предвиђања,
- 5) могућности примене модела у различитим областима потрошњи.

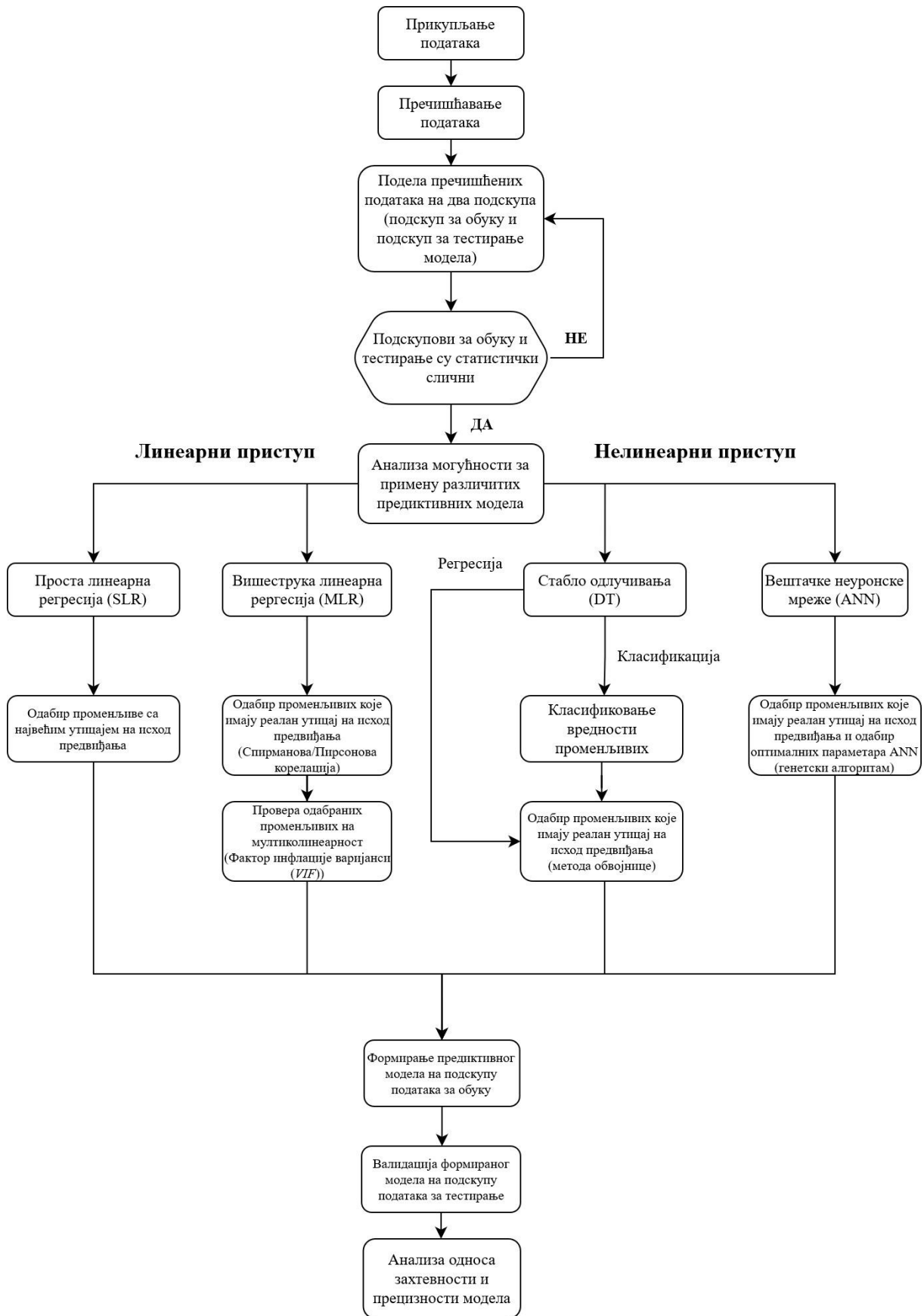
Подаци потребни за анализу се прикупљају кроз три фазе истраживачких активности:

- прикупљање података о физичким карактеристикама јавних зграда укључених у анализу;
- прибављање архивских података о посећености зграда, прикупљање података о потрошњи енергената и воде и прикупљање података о клими за анализирани период;
- анкетирање и разговор са запосленима.

Обрада прикупљених података подразумева претварање прикупљених вредности потрошњи енергије и воде и других детаља (читавања, мерења, вредности у извештајима, пројектима и сл.) у одговарајуће дигиталне форме погодне за компјутерске анализе.

Како би било могуће утврдити прецизне обрасце потрошње енергије и воде у јавним зградама, након спроведеног процеса прибављања и обраде података, потребно је извршити њихово пречишћавање. Пречишћавање података се врши са циљем отклањања резултата мерења насталих грешком (услед кварова мерне опреме), изненадним скоковима у потрошњи насталих несвакидашњим активностима (хаварије, грејне пробе, годишња или вишегодишња поспремања), нередовних читавања потрошњи енергената и сл.

Да би се развили поуздани модели за предвиђање потрошње енергије и воде на узорку јавних зграда, прикупљени и пречишћени подаци (зависне и независне променљиве) се деле на групу података за обуку (~70% укупног удела података) и групу података за тестирање (валидацију) модела (~30% укупног удела података). При формирању подскупова података за обуку и тестирање модела се води рачуна да сваки од подскупова задржи особине оригиналног скупа прикупљених података.



Слика 4.1. Поступак формирања система за предвиђање и праћење воде у јавним зградама

За потребе дефинисања модела за предвиђање потрошње енергије и воде у јавним зградама примењене су четири различите методе. Циљ примене различитих метода био је поређење сложености и прецизности два различита приступа израде модела, линеарног и нелинеарног. Примењене линеарне методе су проста линеарна регресија (као најједноставнија метода) и вишеструка линеарна регресија (као најчешће примењивана метода овог приступа). Примењене нелинеарне методе су стабло одлучивања засновано на C4.5 алгоритму (једна од најчешће примењиваних метода у области машинског учења и алгоритмима за израду стабала одлучивања) и еволутивно склопљене вештачке неуронске мреже (као релативно нова и напредна метода). Поред тога што се примењене методе разликују према приступу и сложености, разликују се и по начину одабира независних променљивих на основу којих се формирају параметри модела. Примера ради, за формирање модела прости линеарне регресије користи се приступ надгледаног одабира података³³ – филтер метода³⁴, док се за формирање вишеструке линеарне регресије користе комбинације ненадгледаног³⁵ и надгледаног приступа (филтер метода). За потребе одабира променљивих неопходних за формирања стабла одлучивања примењена је метода обвојнице (*wrapper*)³⁶ [70] надгледане технике одабира параметара. Еволутивно склопљена вештачка неуронска мрежа користи интристичку методу³⁷ (надгледани приступ) за одабир података који ће учествовати у формирању финалног модела.

4.1. Линеарне предиктивне методе

4.1.1. Проста линеарна регресија

Проста линеарна регресија је статистичка метода која је заснована на узајамном односу две квантитативне променљиве при чему се вредност зависно променљиве може предвидети на основу једне независно променљиве. Ова метода је широко примењена у пословном свету, друштвеним и бихевиористичким наукама, биологији и другим научним дисциплинама. Проста линеарна регресија је најједноставнији облик линеарне регресије која може бити представљена формулом (4.1) [71]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (4.1)$$

где је:

- y – вредност која се предвиђа (зависно променљива) у i -тој итерацији,
- x – вредност помоћу које се предвиђа (независне променљиве) у i -тој итерацији,
- β_0, β_1 – регресиони коефицијенти (регресиони параметри),
- ε – случајна грешка.

³³ Приступ надгледаног одабира података (*supervised approach*) за формирање предиктивног модела се заснива на утицају који независна променљива има на резултат предвиђања (зависну променљиву).

³⁴ Филтер метода (*filter method*) за одабир независних променљивих подразумева одабир заснован на статистичкој корелацији коју независне променљиве имају са зависном променљивом (резултатом предвиђања).

³⁵ Ненадгледани приступ (*unsupervised approach*) одабира података подразумева одабир независно променљивих које формирају модел без праћења утицаја који независна променљива има на зависну променљиву. Такав приступ се нпр. односи на спречавање појаве мултиколинеарности.

³⁶ Метода обвојнице (*wrapper method*) подразумева евалуацију више различитих модела при чему различите моделе формирају различите променљиве. Циљ методе је проналазак оптималне комбинације променљивих при којој ће модел дати најпрецизнија предвиђања.

³⁷ Интристичка метода (*intrinistic method*) подразумева аутоматски одабир параметара у поступку формирања модела.

За разлику од математичког (функције), статистички, није савршен. У том смислу, опажања у случају статистичке зависности немају идеалан линеарни однос. Сходно томе, случајна грешка ε у статистичком односу објашњава варијабилност зависно променљиве која не може бити објашњена линеарном зависношћу између x и y [72].

У теорији, уколико су познати регресиони параметри β_0 и β_1 могуће је одредити зависно променљиву y за сваку вредност независно променљиве x . У пракси, вредности регресионих параметара најчешће нису познате па се оне процењују на основу узорака података. Процена вредности регресионих параметара врши се применом регресионе једначине облика [72]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x \quad (4.2)$$

На основу ове једначине могуће је одредити регресиону линију, при чему је \hat{y} процењена вредност зависно променљиве (y) за вредност x , а b_0 ордината пресека регресионе линије а b_1 процењена вредност регресионог коефицијента за посматрани случај.

4.1.1.1. Метода најмањих квадрата

Метода најмањих квадрата се користи да би се од узорка података одредиле вредности b_0 и b_1 тако да се минимизира сума квадрата девијације стварних вредности зависне променљиве (y_i) и предвиђене вредности зависне променљиве:

Критеријум најмањих квадрата има облик:

$$\min \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.3)$$

где је:

y_i – стварна вредност зависне променљиве за i -ти случај,

\hat{y}_i – процењена вредност зависне променљиве за i -ти случај.

За потребе прорачуна вредности b_0 и b_1 користе се изрази:

$$b_1 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1\bar{x} \quad (4.5)$$

где је:

x_i – вредност независне променљиве за i -ти случај,

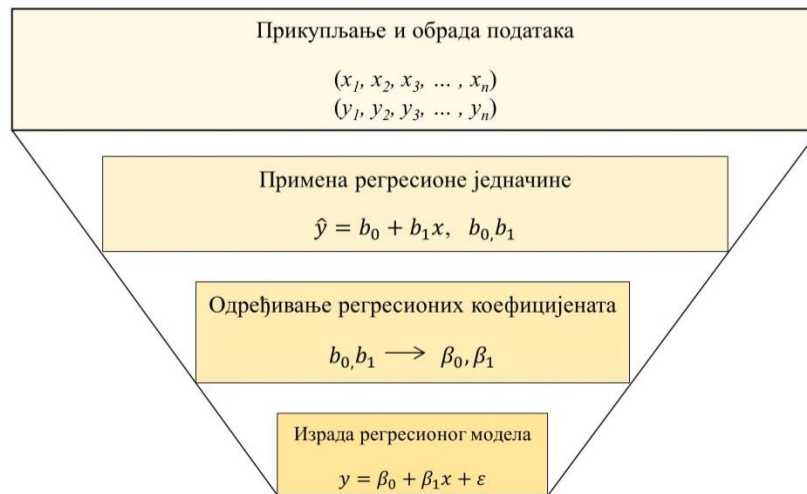
y_i – вредност зависне променљиве за i -ти случај,

\bar{x} – средња вредност независне променљиве,

\bar{y} – средња вредност зависне променљиве,

n – укупан број посматраних случајева.

Поступак израде модела просте линеарне регресије је приказан на слици 4.2.



Слика 4.2. Поступак израде модела просте линеарне регресије

Иако регресиона анализа изражава интензитет међусобног односа две променљиве, она не мора да значи да међу двема променљивим постоји узрочно-последична веза. Доношење закључака о узрочно-последичној вези променљивих захтева додатна објашњења којим анализа методе мора бити употпуњена [72].

4.1.2. Вишеструка линеарна регресија

Вишеструка линеарна регресија је метода заснована на узајамном односу више квантитативних променљивих, при чему се вредност излазне променљиве може предвидети на основу више улазних. Овај облик регресије је посебно погодан за успостављање предиктивних модела у научним дисциплинама и експериментима у којим истраживачи имају могућност да контролишу вредности независно променљивих. Модел вишеструке линеарне регресије има облик [72]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (4.6)$$

где је:

- y – вредност која се предвиђа (зависно променљива) у i -тој итерацији,
- x_i – вредност помоћу које се предвиђа (независна променљива) у i -тој итерацији,
- β_0, β_i – регресиони коефицијенти (регресиони параметри),
- ε – случајна грешка (резидуали),
- p – укупан број променљивих.

У матричном облику, ове једначине се представљају изразом [71]:

$$\underset{n \times 1}{Y} = \underset{n \times p}{X} \underset{n \times p}{\beta} + \underset{n \times 1}{\varepsilon} \quad (4.6)$$

где је:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1,p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2,p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{n,p} \end{bmatrix} \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_p \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

(4.7)

(4.8)

(4.9)

(4.10)

Да би се у процесу вишеструке линеарне регресије одређене променљиве сматрале независним x , потребно је да се испуне одређени услови. Прво, потребно је да постоји логичка оправданост тј. реална претпоставка да независна променљива има утицај на зависну. Друго, треба утврдити меру линеарне зависности која постоји између независно променљивих и зависно променљиве. И треће, за потребе формирања модела, потребно је изабрати групу независно променљивих тако да међу њима нема линеарне зависности (корелације³⁸), или тако да она буде релативно мала.

Однос или корелација између две променљиве може имати вредности у распону од -1 до 1. Нулта вредност коефицијента корелације означава непостојање линеарне везе, док апсолутна вредност која је једнака јединици представља савршену корелацију. Знак вредности представља оријентацију корелације, при чему негативне вредности указују на инверзну, а позитивне вредности на директну корелацију. Снага корелације расте са порастом апсолутне вредности корелационог коефицијента [73]. За потребе квантификовања линеарне зависности међу подацима са нормалном расподелом користи се Пирсонов (Pearson's) [74], а међу подацима који немају нормалну расподелу Спирманов (Spearman's) [75] и Кендалов (Kendall's) [76] коефицијент корелације. У зависности од вредности коефицијената, корелација може бити окарактерисана као слаба или занемарљива, умерена, јака, веома јака и савршена [73]. Зависно од аутора и научне области, границе вредности категорија корелације могу у одређеној мери да варирају. Међутим, без обзира на приступ, апсолутне вредности коефицијента мање од 0,2 представљају занемарљив, а оне веће од 0,2 незанемарљив линеарни однос.

Независне променљиве које имају релативно јаку корелацију са зависно променљивом у највећој мери одређују њену вредност. Осим тога, у предиктивни модел вишеструке линеарне регресије често су укључене променљиве које имају релативно мали линеарни однос са зависном. Свака од независних променљивих, при том, у модел „уноси“ део утицаја на зависну. Присуство више улазних променљивих међу којима постоји линеарна зависност може се негативно одразити на једноставност и прецизност модела. Са једне стране већи број променљивих може да употпуни модел, са друге стране променљиве које испољавају мултиколинearност³⁹ негативно утичу на квантификовање регресионих коефицијената β . На тај начин мултиколинearност негативно утиче на могућност одређивања утицаја појединачних променљивих на резултат предвиђања и смањује свеукупну предиктивну моћ модела. Како би се спречио или умањено негативан утицај мултиколинearности, потребно је да се пре формирања модела одабере погодна група улазних (независних) параметара. Поступак одабира улазних параметара је могуће спровести одређивањем коефицијента корелације међу свим потенцијалним варијаблама (Пирсонов или Спирманов коефицијент корелације, зависно од типа расподеле

³⁸ Корелација се дефинише као однос који постоји између две променљиве или два феномена који имају особину да варирају или се појављују истовремено на начин који се не може објаснити као случајан [112].

³⁹ Мултиколинearност у моделу вишеструке линеарне регресије подразумева постојање две или више улазних променљивих међу којима постоји корелација чија апсолутна вредност коефицијента r прелази 0,7 [72].

података), те одабрати оне које нису у међусобној (средњој или јакој) корелацији. Такође, поступак одабира независних променљивих је могуће спровести одређивањем вредности VIF тј. вредности фактора инфлације варијанси⁴⁰ [77]. Прихватљива вредност фактора инфлације варијанси која дефинише границу мултиколинearности параметара варира у зависности од литературе и креће се у распону од 4 [37] до 10 [35]. Независно од литературе, мање вредности VIF значе мањи утицај или потпуно одсуство мултиколинearности.

Дакле, након адекватне припреме одабране податке је могуће укључити у модел вишеструке линеарне регресије. За разлику од просте линеарне регресије чија је функција модела линија, функција модела вишеструке линеарне регресије је раван (у случају функције са две независно променљиве) или хиперраван⁴¹ (за случај са више од две независно променљиве), при чему свака тачка равни одговара вредности y за задате вредности независних променљивих x . Уз претпоставку да је вредност случајне грешке ε у моделу једнака нули, аналогно простој линеарној регресији, функција модела вишеструке линеарне регресије би имала облик [72]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (4.11)$$

где је:

\hat{y} – процењена вредност зависно променљиве (y),
 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_p$ – процењене вредности регресионих коефицијената $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$.

За случај када су у регресионом моделу познате вредности β могуће је одредити средњу вредност y за све вредности независно променљивих x . Како су у пракси вредности регресионих коефицијената непознате, да би се направио одговарајући модел којим се описује појава потребно је проценити их на основу посматраног узорка података. Процењене вредности регресионих коефицијената b се одређују методом најмањих квадрата према (једначина 4.3).

Разлика стварних и предвиђених вредности зависне променљиве представља грешку (e).

$$y_i - \hat{y}_i = e_i \quad (4.14)$$

тј. у векторском облику:

$$e = Y - Xb \quad (4.15)$$

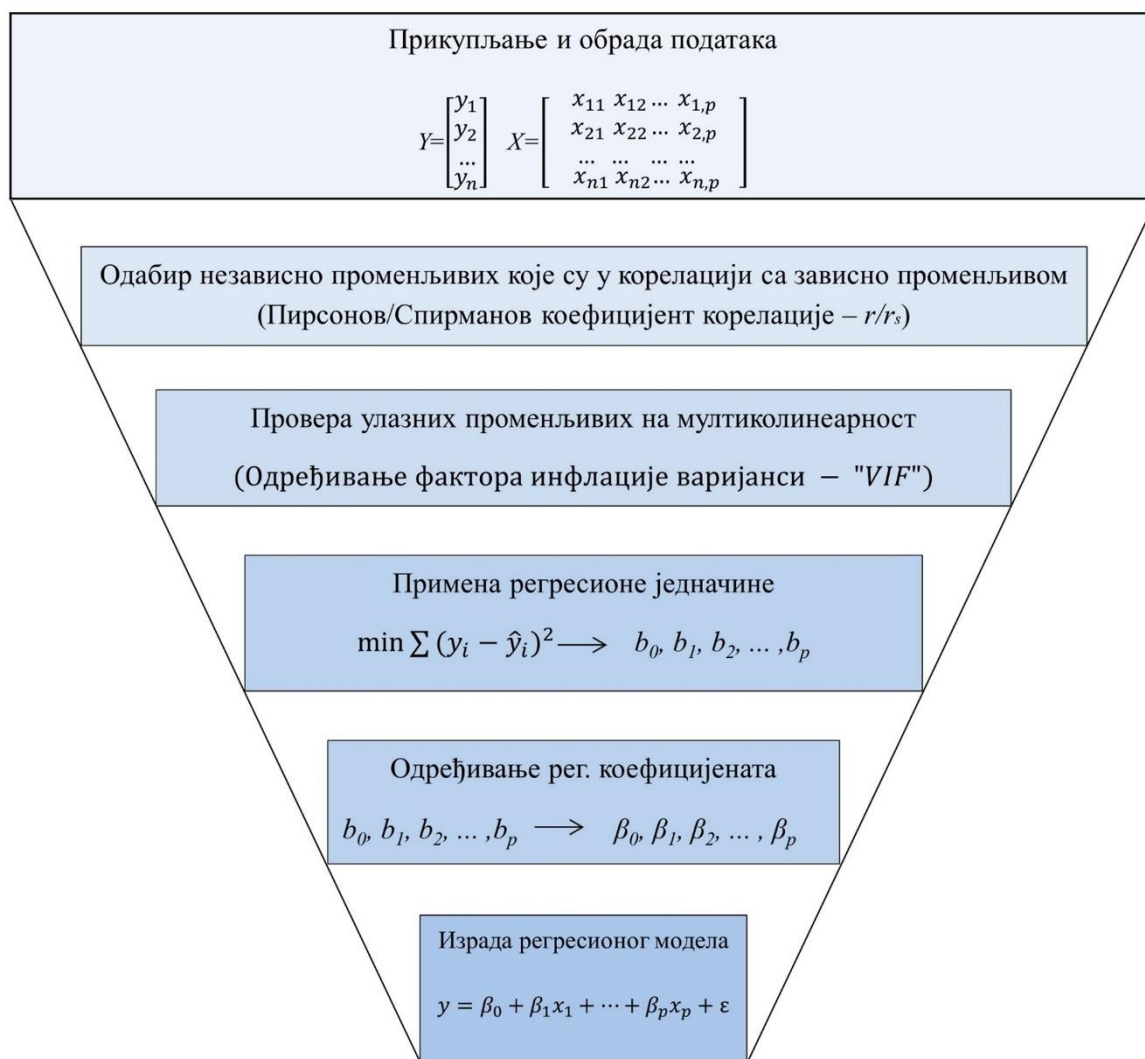
при чему је:

$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

⁴⁰ Фактор инфлације варијанси (VIF) представља меру колинearности која постоји међу улазним променљивим у поступку спровођења вишеструке линеарне регресије. Математички, фактор инфлације варијанси представља однос варијације свеукупног регресионог модела са варијацијом модела који садржи само једну независну. Овај однос се рачуна за сваку од улазних променљивих засебно [113].

⁴¹ Хиперраван је било који потпростор димензије $n-1$, неког простора димензије n [114].

Поступак израде модела вишеструке линеарне регресије је приказан на слици 4.3.



Слика 4.3. Поступак израде модела вишеструке линеарне регресије

Као и за моделе просте линеарне регресије, и код модела за вишеструку линеарну регресију је потребно додатно објаснити узрочно-последичну везу која постоји између независних променљивих и зависно променљиве.

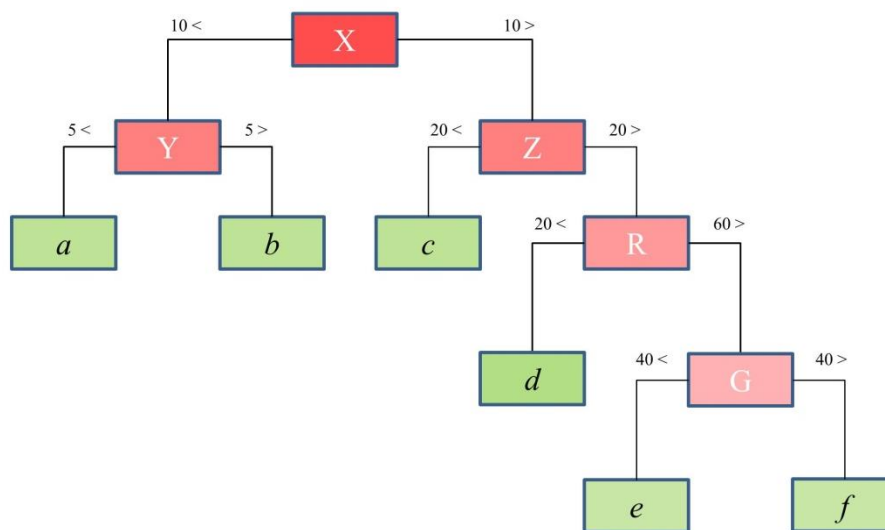
4.2. Нелинеарне методе

4.2.1. Стабло одлучивања

Стабло одлучивања (*Decision Tree*) је популарна и једна од често коришћених метода у области машинског учења [78]. Метода чини групу класификационих правила која (према хијерархији) формирају облик стабла на основу којег се спроводи класификација података (слика 4.4). Сваки подскуп у стаблу се састоји од променљивих које могу имати нумеричке или симболичке вредности⁴². У чворовима стабла се налазе тестови. У случају

⁴² Симболичка вредност представља вредност којом се описују објекти или идеје, те се у том смислу симболише њихово значење [115].

када је тест тачан, алгоритам даје резултате у листовима⁴³ а у супротном наставља гранање док не оствари боље класификационе поделе података, при чему већи број променљивих захтева веће стабло одлучивања.



Слика 4.4. Шематски приказ стабла одлучивања

Тип података који може да се класификује у стаблу зависи од типа алгоритма који се користи за његово формирање. Хантов алгоритам, који је основа најчешће примењиваним типовима стабала, функционише према рекурзивном моделу, тј. понавља процес дељења података из скупа за обуку модела тако да се у сваком наредном дељењу добијају чистији⁴⁴ подскупови [79]. Даља унапређења овог алгоритма (ID3, C4.5, CART) имају својства која се могу дефинисати као предности или недостаци у односу на друге. Примера ради, ID3 алгоритам [80] је релативно једноставан у поређењу са преостала два, али прави незанемарљиве грешке када се ради са скуповима са релативно малим бројем узорака (превише прилагођен модел (*overfitting*)⁴⁵). Поред тога, ограничен је у смислу типа података које обрађује, јер не ради са нумеричким и недостајућим вредностима. CART [80] представља класификационо и регресионо стабло (*Classification And Regression Tree*) које обрађује нумеричке и категоријске вредности, тако што се сваки чвор у стаблу дели бинарно, на два излаза. Један од недостатака методе је то што у чвору може да дели само једну варијаблу. C4.5 [81] представља унапређење ID3 алгоритма, при чему ради са номиналном и категоријским вредностима, подржава рад са недостајућим вредностима и решава проблем превише прилагођеног модела поткресивањем. Верзија регресионог стабла одлучивања заснована на C4.5 алгоритму доступна у софтверском пакету WEKA је REPTree⁴⁶. Алгоритам ради са нумеричким вредностима улаза тако што

⁴³ Лист у стаблу одлучивања представља излаз модела, тј. класу која је додељена групи променљивих.

⁴⁴ Чистоћа подкупа представља меру неуређености подкупа гледано према једној класи подкупа, тј. степен до којег подкуп чине примери само једне класе.

⁴⁵ Превише прилагођен модел (*model overfitting*) је онај модел изграђен тако да објасни готово све појаве у ограниченом скупу података за обуку модела, чак и оне који могу бити грешке у скупу. Због тога, превише прилагођен модел показује релативно високу прецизност на скупу података за које је формиран, али не и на независним скуповима података за валидацију.

⁴⁶ REPTree – у научној литератури акроним за алгоритам стабла одлучивања са смањеном грешком поткресивања тј. „Reduced Error Pruning Tree“.

формира више стабала у различитим итерацијама. Након тога, алгоритам бира онај са најбољим исходима предвиђања.

Мера „нечистоће“ подскупова у стаблу се мери индексима нечистоће, при чему за потребе класификације у ID3 и C4.5 алгоритму користи мера ентропије подскупа, а у CART алгоритму Џини индекс (Gini index). Стабло одлучивања које тачно класификује све случајеве из скупа података за обуку модела (*training set*)⁴⁷ тј. има изузетну прецизност при класификацији, често није тако добар класификатор на скупу података за тестирање (*test set*)⁴⁸ тј. има релативно лошу прецизност при генерализацији. Разлог томе је формирање превише прилагођеног модела који даје веома добре резултате на групи података за коју је формиран, али не и на групи сличних података на којима се модел тестира.

Како би се избегао проблем стварања превише прилагођеног модела, тј. релативно великог броја грешака при генерализацији, већина алгоритама за стабла одлучивања примењује тзв. методу поткресивања (*pruning*)⁴⁹, која након развијања релативно великог стабла подразумева брисање једног његовог дела. Алтернативна метода поткресивању је примена критеријума заустављања (*“stopping” criterion*)⁵⁰. Применом ових метода алгоритам зауставља даљу класификацију подскупа онда када су све променљиве из исте класе, или када су све променљиве приближних вредности па нема основа за даљу класификацију. На тај начин се тражи идеалан однос између једноставности и прецизности са једне стране и релативне сложености и превелике прилагођености модела са друге.

4.2.2. Вештачке неуронске мреже

Вештачке неуронске мреже представљају математички модел који oponаша процесе биолошких неуронских мрежа. Састоје се од неколико слојева неурона, тј. слојева чворова у којим се обрађују информације (слика 4.5). Први слој неурона који прима спољашње податке се назива улазни, а последњи слој који даје коначне резултате излазни. Између улазног и излазног слоја неурона се могу наћи скривени слојеви. Сваки неурон у једном слоју је повезан са једним или више неурона у суседном, те су тако излазни сигнали из једног неурона улази у друге. Везе које постоје међу неуронима суседних слојева oponашају синапсе биолошке неуронске мреже⁵¹, при чему свака веза има одређену тежину која појачава или смањује „снагу“ сигнала који се креће од једног неурона ка другом.

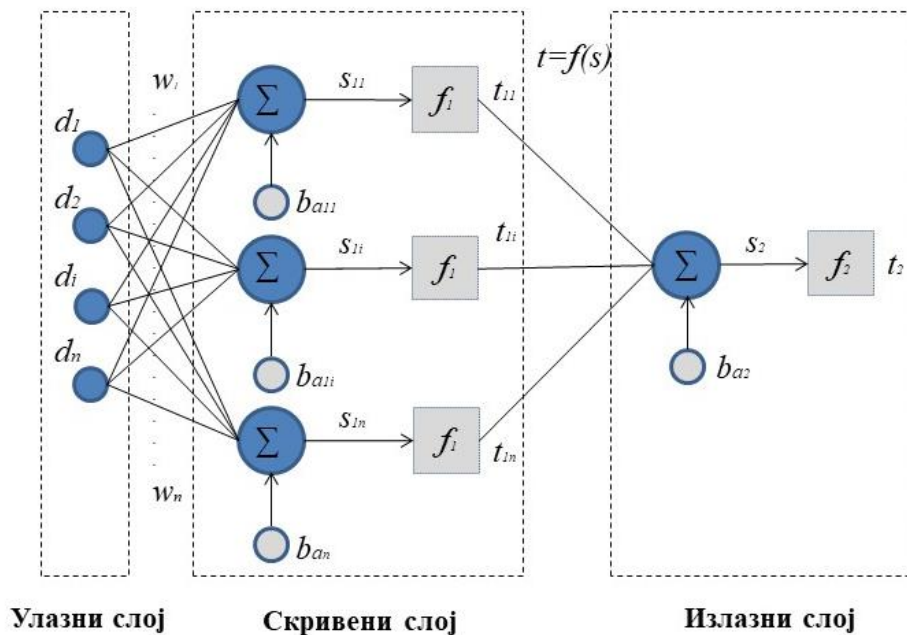
⁴⁷ Скуп података за обуку модела (*training set*) представља податке који се користе за формирање параметара модела [116].

⁴⁸ Скуп података за тестирање (*test set*) представља независну групу података која се користи за непристрасну евалуацију модела формираног на скупу података за обуку модела.

⁴⁹ Поткресивње (*pruning*) подразумева замену гране (подстабла) у стаблу одлучивања тзв. листом [117].

⁵⁰ Критеријум заустављања (*“stopping” criterion*) подразумева прекид прилагођавања модела ограниченој групи података уколико нису испуњени услови за даље деловање алгоритма.

⁵¹ Синапса биолошке неуронске мреже је део неурона кроз коју се путем хемијских процеса информација преноси до другог неурона [118].



Слика 4.5. Шаблон функционисања модела вештачке неуронске мреже

Преносни сигнал у моделу се представља као сума константе и производа скалара и тежине скалара [82]:

$$s = \sum_i^n d_i w_i + b_a \quad (4.17)$$

где је:

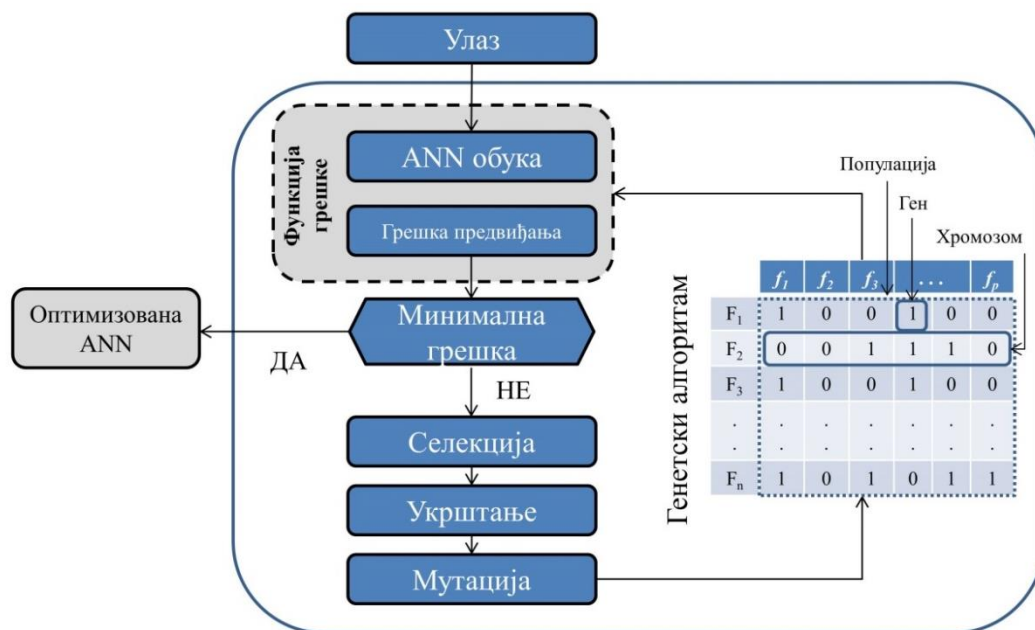
- s – преносни сигнал
- d_i – i -ти улазни податак
- w_i – i -ти тежински скалар (коэффицијент)
- b_a – праг активације
- n – укупан број тежинских скалара

Након што прими информације (сигнале), сваки неурон у мрежи их обрађује унутар активационе функције⁵² која потом даје излаз из неурона. Модел вештачке неуронске мреже за одређени случај или појаву се ствара тако што се мрежа „учи“ на групи података за обуку, где су познати сви улазни и излазни подаци. У тзв. надгледаном приступу модел формира тежинске коэффицијенте веза међу неуронима тако да смањује грешку између стварне и предвиђене вредности излаза. Услед прилагођавања тежинских коэффицијената за многобројне случајеве улаза и излаза, грешка између стварне и предвиђене вредности излаза модела се своди на минималну. Како би се избегао случај стварања превише прилагођеног модела, научени модел је потребно тестирати на скупу података за тестирање.

⁵² Активациона функција у моделима вештачких неуронских мрежа представља функцију која даје излаз из неурона. Уколико су сигнали који улазе у неурон испод прага активације излаз из неурона ће бити релативно малог интензитета. Уколико су сигнали изнад прага активације неурона излаз активационе функције ће бити релативно великог интензитета.

Један од напредних модела вештачких неуронских мрежа која кроз низ итеративних поступака врши аутоматску селекцију параметара мреже је EAANN⁵³ [83]. Овај модел користи генетски алгоритам (GA) да би у надгледаном приступу кроз серије итерација одредио: 1) хиперпараметре модела, и 2) извршио одабир променљивих које утичу на исход предвиђања. Хиперпараметри који се одређују овим путем су: број неурона у скривеном слоју, тип активационе функције у слојевима, алгоритам учења⁵⁴, број епоха учења⁵⁵, фактор учења⁵⁶ и импулсни члан⁵⁷.

Одабир улазних параметара (атрибута) и подешавање хиперпараметара вештачке неуронске мреже у EAANN алгоритму врши се упоредо. Према шаблону приказаном на слици 4.6, популација унутар генетског алгоритма се састоји од хромозома. У конкретном случају хромозоми од F_1 до F_7 представљају хиперпараметре вештачке неуронске мреже, а од F_8 до F_n атрибуте. Сваки хромозом у популацији чини низ потенцијалних гена, нула и јединица, који респективно представљају случајеве у којима се у алгоритму посматра или не посматра утицај хиперпараметра или атрибута (хромозома) на исход предвиђања. Комбинација гена која у алгоритму вештачке неуронске мреже даје исход најприближнији стварном, представља оптимално решење које се тиче подешавања хиперпараметара, а тип гена у хромозомима (нула или јединица) одређују који атрибути имају реалан утицај на исход предвиђања а који не.



Слика 4.6. Процес функционисања EAANN алгоритма

⁵³ EAANN – у научној литератури акроним за методу „Evolutionary Assembled Artificial Neural Networks“, тј. еволутивно склопљену вештачку неуронску мрежу.

⁵⁴ Алгоритам учења (*learning algorithm*) може бити надгледани, уколико модел на основу улазних променљивих процењује излазну (регресија, класификација), и ненадгледани, уколико у моделу нема излазне променљиве (асоцијација, кластеровање).

⁵⁵ Број епоха учења (*number of learning epochs*) представља број итерација у току обуке модела [119].

⁵⁶ Фактор учења (*learning rate*) је хиперпараметар модела мреже који одређује у којој мери ће се модел мењати као одговор на процењену грешку предвиђања након сваке нове претпостављене вредности тежинских коефицијената. Вредност фактора учења у великој мери одређује прецизност и трајање обуке модела.

⁵⁷ Импулс (*momentum*) је хиперпараметар модела мреже који убразава конвергенцију и пригушује осцилације мреже.

5. Примена система за праћење и предвиђање енергије и воде на студији случаја

5.1. Предмет истраживања

Град Крагујевац представља седиште, привредни, административни, културно-образовни и здравствени центар Шумадијског округа у региону централне Србије. Простире се на укупној површини од 835 km², на надморској висини између 185 и 220 m. Према попису из 2011. г. [84] на територији града живи 179417 становника, што Крагујевац чини четвртим градом по насељености у Републици Србији. При том, 84% становништва града живи унутар градске области што град чини првим градом у Републици Србији по проценту урбане популације [11]. Више детаља о температурним карактеристикама града, које у највећој мери утичу на потрошњу енергије у зградама, приказано је у табели 5.1:

Табела 5.1. Климатске карактеристике града Крагујевца за период од 1981. до 2010. г. [85] [86]

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура[°C]												
Средња максимална	5,2	7,3	12,5	17,8	23,0	26,1	28,7	28,8	24,0	18,5	11,6	6,2
Средња минимална	-2,6	-1,9	1,8	5,9	10,6	13,8	15,3	15,1	11,3	7,1	2,5	-1,1
Нормална вредност	0,9	2,3	6,6	11,7	16,7	20,0	21,9	21,5	16,9	11,9	6,4	2,1
Апсолутни максимум	20,6	24,2	29,4	31,4	35,4	39,4	43,9	40,4	37,4	32,6	27,6	21,0
Апсолутни минимум	-27,4	-23,8	-18,3	-5,8	1,4	4,1	7,2	4,6	1,6	-6,6	-11,8	-20,6
Ср. бр. мразних ⁵⁸ дана	20	17	10	2	0	0	0	0	0	2	8	17
Ср. бр. тропских ⁵⁹ дана	0	0	0	0	2	7	13	13	3	0	0	0
Релативна влажност [%]												
Просек	79	75	69	67	68	68	65	67	72	75	77	81
Трајање сијања сунца [h]												
Просек	71,9	94,8	144,5	180,4	234,5	257,4	293,5	275,5	200,8	152,1	93,9	63,7
Број ведрих дана	3	4	4	4	4	5	9	11	7	7	4	3
Број облачних дана	15	12	10	8	7	5	4	3	6	7	11	15
Појаве (број дана са)												
Снегом	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0	3	7
Снежним покривачем	12	10	4	0	0	0	0	0	0	0	3	10
Маглом	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3

Када су у питању начини градње, на подручју града, као и на подручју Републике Србије, могуће је издвојити неколико периода са различитим уредбама које се тичу градње и термичке изолације зграда, или са одсуством одговарајућих прописа у области (табела 5.2).

⁵⁸ Број мразних дана представља број дана са дневном минималном температуром нижом од 0°C [120].

⁵⁹ Број тропских дана представља број дана са дневном максималном температуром вишом од 30°C [120].

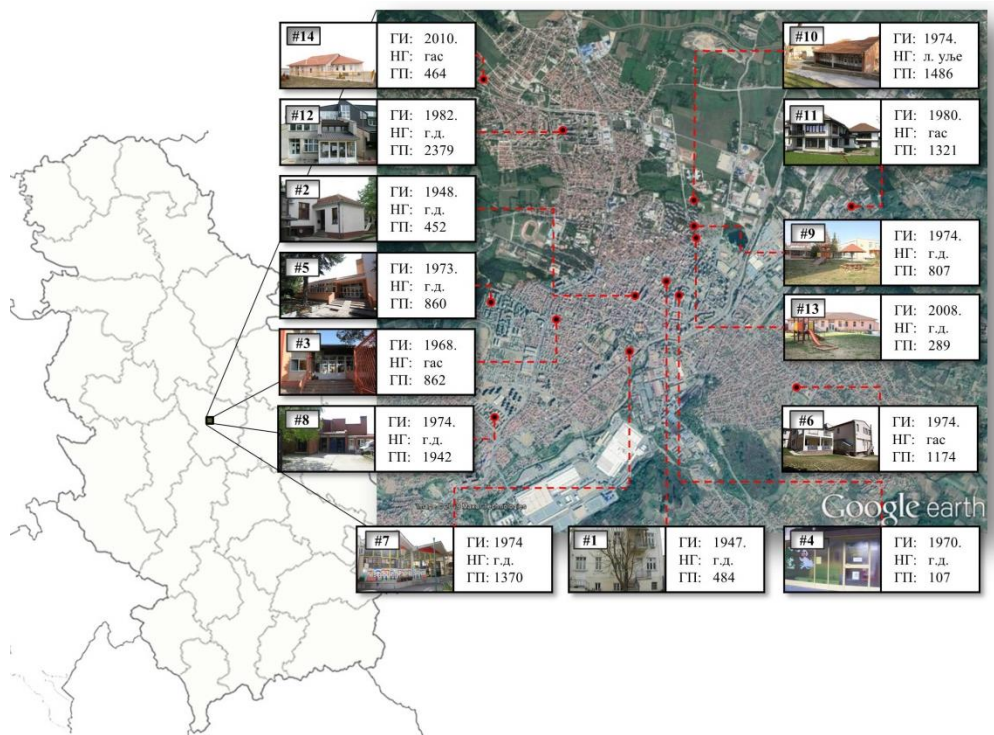
Табела 5.2. Термичке карактеристике зграда зиданих у Р. Србији у различитим периодима градње [27] [87]

Период градње	Основне карактеристике зграде
Пре 1945	<ul style="list-style-type: none"> - изградња без прописа у области термичке изолације зграда - традиционалне технике градње циглом или каменом - дебљина спољашњих зидова се креће од 25 cm до 50 cm ($U=1,33 - 1,05 \text{ W/m}^2/\text{K}$) - плафони су у најчешће дрвени или масивни (цигла, камен или бетонски елементи) - подови су најчешће израђени од слоја набијене земље - дрвена врата и дрвени прозори, двокрилни, двоструки, једноструко застакљени ($U=3,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$) - зграде имају мање топлотне губитке од релативно нових зграда са лаком бетонском конструкцијом
1946–1970	<ul style="list-style-type: none"> - период интензивне градње али без прописа у области термичке изолације зграда - релативно лаке конструкције од пуне опеке или гитер блокова без додатне термичке изолације ($U=1,61-1,74 \text{ W/m}^2/\text{K}$) - дрвена врата и дрвени прозори, двокрилни, двоструки, једноструко застакљени ($U=3,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$)
1971–1980	<ul style="list-style-type: none"> - први национални пропис о топлотној изолацији стамбених зграда - период интензивне градње – употреба лаких армиранобетонских конструкција без додатне термичке изолације или са умереном додатном термичком изолацијом - дрвена врата и дрвени прозори, двокрилни, двоструки, једноструко застакљени ($U=3,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$)
1981–1987	<ul style="list-style-type: none"> - стандард JUS U.J5.600 – Топлотна техника у грађевинарству – Технички услови за пројектовање и грађење зграда (1980) - Армирано бетонски зидови изводе се у минималним статичким дебљинама од 16 до 18 cm, зидане конструкције изводе се углавном од шупље опеке дебљине 19 cm (или пуне опеке 25 cm) - кровови се најчешће израђују као равни, са бетонском плочом и минималном изолацијом - релативно велике површине у стаклу – прозори са изо стаклом, али врло лоших профила, без прекида топлотних мостова и са лошим заптивањем - нема прописа који се тичу термичке регулације столарије и дозвољене површине
1987–2011	<ul style="list-style-type: none"> - стандард JUS U.J5.600 – Топлотна техника у грађевинарству – Технички услови за пројектовање и грађење зграда (1987) - спољашњи зидови се израђују од свих материјала доступних на тржишту са додатном термичком изолацијом у складу са прописима - додатна термичка изолација је најчешће камена вуна или полистирен. Дебљина термичке изолације на спољашњим зидовима је од 4 cm до 6 cm, а на косим крововима 8 cm до 12 cm

Тренутно важећи Правилник о енергетској ефикасности зграда из 2011. г. [88] уводи енергетске разреде⁶⁰ и прописује највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте (U_{\max} [$\text{W/m}^2/\text{K}$]) за различите грађевинске елементе зграда. Такође, правилник прописује максималне дозвољене вредности годишње потрошње енергије за грејање ($65 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ за новоизграђене зграде намењене образовању и култури) и препоручује енергетске разреде у чијим оквирима би годишња потрошња топлотне енергије зграде требала да буде након реконструкције (побољшање од најмање једног енергетског разреда). Предмет истраживања ове докторске дисертације су јавне зграде на територији

⁶⁰ Енергетски разред зграде је показатељ енергетских својстава зграде, исказан преко релативне вредности годишње потрошње финалне енергије за грејање [%], и представља процентуални однос специфичне годишње потребне топлоте за грејање [$\text{kWh/m}^2/\text{a}$] и максимално дозвољене за одређену категорију зграда [121].

града Крагујевца (слика 5.1). Истраживање је спроведено на узорку јавних зграда – предшколским установама, које на основу намене, градње и потрошње енергије чине засебну целину унутар зграда у сектору образовања [27]. Испитани узорак обухвата све зграде јавних предшколских установа на територији града (14) које су биле у функцији у току 2019. и 2020. г. у којима око 440 запослених пружа бригу за приближно 3800 корисника услуге. Спроведена истраживања показују да се све анализирани зграде, изузев две новоизграђене, налазе у G (специфична годишња потребна топлота за грејање већа од 188 kWh/m²/a) или F (специфична годишња потребна топлота за грејање између 150 kWh/m²/a и 188 kWh/m²/a) енергетском разреду [89], а спроведене студије случаја да се потрошња топлотне енергије у предшколским установама унапређењем стања термичког омотача може смањити за 36% [90] до 79% [91].

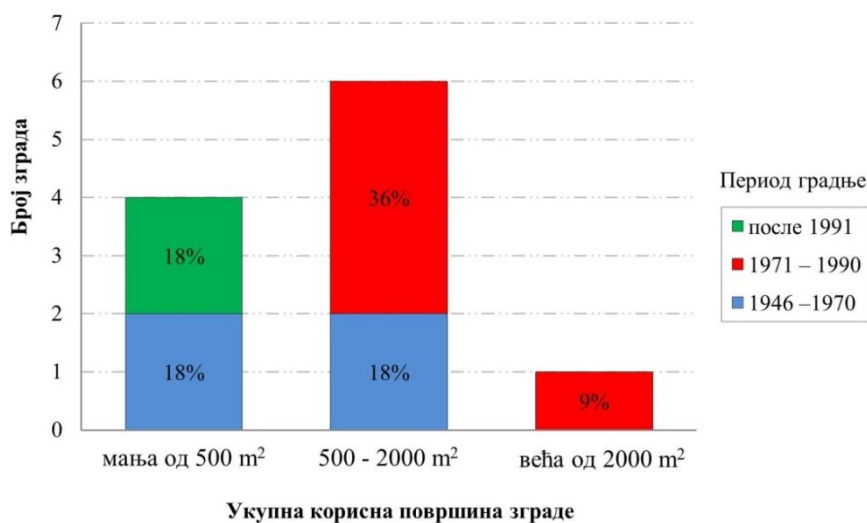


Напомена: Редни број зграда (#) је наведен према редоследу њихове изградње.
 акроними: ГИ [год.] – година изградње, НГ – начин грејања (г.д. – градско даљинско, л. уље – лож уље),
 ГП [m²] – грејана површина пода

Слика 5.1. Зграде јавних предшколских установа у граду Крагујевцу 2020. г.

Анализиране зграде су зидане у различитим периодима те због тога имају различите карактеристике термичког омотача. Поред тога, различитих су површина. Највећи удео зграда (54%) има површину 500 – 200 m², док 36% зграда има мању површину од 500 m² (слика 5.2). Све зграде су прикључене на систем градске водоводне мреже и електродистрибутивне мреже. Очитавања потрошње воде, електричне и топлотне енергије се према извештајима јавних комуналних предузећа обављају сваког првог у месецу. Начин грејања објеката у највећој мери зависи од њихове локације. Зграде у предграђу се греју на лож уље (једна зграда) и природни гас (четири зграде), док су оне унутар града најчешће прикључене на систем градског даљинског грејања [89].

За све зграде прикључене на систем градског даљинског грејања грејна сезона најчешће почиње 15. октобра и траје до 15. априла. У случају када је спољашња температура ваздуха (мерено у 21 ч.) два дана узастопно нижа од 12°C систем грејања може почети са радом пре или трајати дуже од оквирног трајања сезоне [92]. Грејни дан за све зграде прикључене на систем градског даљинског грејања почиње у 6:30 и траје до 21:30 ч. [85]. Зграде са централним грејним системима на природни гас имају котлове са временски подешеним режимима грејања. Гранична температура⁶¹ од 24°C у овим зградама се одржава у периоду од 05:00 до 21:00 ч. У ноћном режиму, од 21:00 до 05:00 ч., централни систем грејања температуру ваздуха у згради одржава на 17°C. Зграде немају посебан режим грејања за време нерадних дана те се због тога у току сваког дана грејне сезоне греју по истом режиму. Радно време предшколских установа је од 5:30 до 16:30 ч, а у случајевима организације активности за предшколске групе до 17:30 ч.



Слика 5.2. Карактеристике анализираних зграда предшколских установа у граду Крагујевцу

5.2. Прикупљање података

За потребе израде докторске дисертације анализирани су подаци о потрошњи топлотне енергије, електричне енергије и воде у зградама јавних предшколских установа у Крагујевцу за период од 5 година (2015–2019. г.). У зависности од доступности података и препрека које се тичу појединачних читавања потрошње енергије и воде неке од зграда су у појединим анализама биле искључене.

Прва од три фазе истраживања која се тичу прикупљања података (тачка 4.) се односила на прибављање оригиналних и изведених⁶² података тј. тумачењу архивске грађе са циљем утврђивања пројектованих особина термичког омотача анализираних зграда. Иако је Национална типологија предшколских установа у Републици Србији [43], између осталог, имала за циљ типизацију карактеристика термичког омотача репрезентативних типова зграда према периоду градње, није могла бити поуздан извор за потребе израде

⁶¹ У зависности од литературе и стандарда распон вредности средње температуре ваздуха унутар затворене просторије намењене боравку људи има различите вредности: 18–24°C [122], 18–26°C [123], 20–28°C [123], 20–30°C [124].

⁶² Изведени подаци су они добијени комбинацијом два или више оригинална податка.

предиктивних модела потрошње енергије и воде из два разлога. Прво, зато што су на основу релативно великог узорка јавних зграда анализирани само преобладајући а не сви периоди градње. И друго, зато што за случај појединих периода градње постоје одступања која се тичу карактеристика зграда приказаних као репрезентативних и оних који не одговарају типичном стилу градње периода.

Са тим у вези, типизација представља релативно користан полазни документ када се раде свеобухватне анализе унутар једног сектора. Међутим, за потребе анализа које се врше на релативно малом узорку, неподударности типичних и нетипичних (описаних и неописаних) зграда једног периода могу утицати на исправност доношења одлука. Због тога, при изради релативно прецизних предикција, резултатима типологије се треба приступити са пажњом.

За потребе утврђивања пројектованих карактеристика анализираних зграда у Крагујевцу били су доступни архитектонски и пратећи пројекти, али не и пројекти изведеног стања. Због тога су, након увида у постојећу документацију, извршена контролна снимања зграда са циљем провере усаглашености пројектованог и изведеног стања тј. утврђивања реалног стања омотача, електричних и водоводних инсталација сваке анализиране зграде (табела 5.3). Прибављени физички детаљи анализираних зграда су приказани у прилогу 2.

Друга фаза прибављања података се односила на непосредно прикупљање променљивих информација које се тичу дневних тј. месечних посета зградама и података о клими. Отежавајућа околност ове фазе истраживања била је чињеница да су информације о присуству бележене на дневном нивоу у традиционалним дневницима за групе које просечно броје од 20 до 30 полазника (збирни капацитет свих предшколских установа је око 3900 места). Такође, посете анализираним установама су захтевале унапред договорене термине како се не би угрозио квалитет обављања делатности у згради и како би се обезбедили услови за идентификацију лица пре уласка у објекат. Због свега тога, процес прикупљања и превођења података у електронски облик је био релативно дуг и заморан.

Климатски подаци града за анализирани период су прибављени од Републичког Хидрометеоролошког завода Србије, а подаци који се тичу месечне потрошње енергената од јавних и јавних комуналних предузећа задужених за дистрибуцију топлотне и електричне енергије, природног гаса и воде („Енергетика д.о.о.“, „ЕПС дистрибуција“, „Србијагас“ и „Водовод и канализација“, респективно). Разврставање прикупљених података вршено је према шаблону приказаном у табели 5.4.

Табела 5.3. Прибављени физички детаљи анализираних зграда

Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[-]
	Број зграда	NB	[-]
	Тип градње	TB	[-]
	Спратност	NF	[-]
	Начин грејања	HS	[-]
	Бруто површина термичког омотача зграде	TEGS	[m ²]
	Нето површина термичког омотача зграде	TENS	[m ²]
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]
	Грејана запремина	HV	[m ³]
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]
	Површина плафона	CA	[m ²]
	Тип грађевинске столарије	FT	[-]
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије	U-FA	[W/m ² K]
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]
	Тип крова	RT	[-]
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	
Фактор облика ⁶³	AR	[m ⁻¹]	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]
	Укупан број сати рада расвете у току месеца	HLU	[h/month]
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]
	Укупан број славина	TNF	[-]
	Укупан број радних дана	TNWD	[-]

За потребе дефинисања фактора који у највећој мери утичу на потрошњу електричне енергије у летњим месецима, потенцијални фактор температуре је разложен на неколико поткатегија са жељом да се одаберу најутицајнији. Такође, број остварених месечних посета корисника услуге и корисника простора је посматран збирно и засебно како би било могуће одредити вредност утицаја узраста посетилаца на месечну потрошњу енергије и воде у зградама.

⁶³ Однос површине омотача зграде и запремине унутрашњег простора зграде.

Табела 5.4. Прибављени подаци о потрошњи енергената и оствареном броју посета у зградама и клими на месечном нивоу за посматрани временски период

Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица
Енергенти	Потрошња топлотне енергије ⁶⁴	HEC	[kWh/month]
	Потрошња електричне енергије	EEC	[kWh/month]
	Потрошња гаса ⁶⁵	GC	[Nm ³ /month]
	Потрошња лож уља	FOC	[m ³ /month]
	Потрошња воде	MWC	[m ³ /month]
Посећеност	Остварени број месечних посета вртићу (корисници услуге)	KMV	[-]
	Остварени број месечних посета јаслицама (корисници услуге)	NMV	[-]
	Остварени број месечних посета запослених	AMV	[-]
	Укупан број остварених месечних посета (корисници простора)	TP	[-]
Клима	Број грејних степен дана	HDD	[°C·day/month]
	Сума средњих дневних температура у току месеца	T _m	[°C]
	Сума максималних дневних температура у току месеца	T _{max}	[°C]
	Сума минималних дневних температура у току месеца	T _{min}	[°C]
	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 22°C	NT _m >22°C	[-]
	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 26°C	NT _m >26°C	[-]
	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 30°C	NT _m >30°C	[-]
	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 22°C	NT _{max} >22°C	[-]
	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 26°C	NT _{max} >26°C	[-]
	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 30°C	NT _{max} >30°C	[-]
	Просечна релативна влажност у току месеца	AMAH	[%]

Трећа фаза прибављања података се односила на анкетирање и интервјуисање запослених, васпитача и помоћног особља, ради утврђивања образаца понашања и активности које се обављају у згради. Да би запослени дали што тачније одговоре, посебна пажња је посвећена томе да се сваком испитаном стави до знања да анкета и касније спроведени интервјуи са помоћним особљем немају контролну већ истраживачку намену. Циљ спроведене анкете је био да утврди начин и временско трајање проветравања учионица. Садржај анкете је приказан у прилогу 1.

На молбу достављену управним органима предшколских установа сви запослени васпитачи су попунили анкету. Са циљем да се донесу правилни закључци о утицају учесталости и трајања проветравања простора на потрошњу топлотне енергије зграде,

⁶⁴ За зграде прикључене на систем градског даљинског грејања.

⁶⁵ За потребе прорачуна утрошене топлотне енергије приликом конверзије усвојена је доња топлотна моћ природног гаса гарантована од стране испоручиоца (34000 kJ/Nm³) и коефицијент ефикасности гасног котла од 0,9.

подаци прикупљени анкетом су анализирани заједно са подацима који се тичу типа и старости столарије.

Поред тога, интервјуисањем и мерењима у пратњи техничког особља, утврђени су обрасци понашања који се тичу потрошње воде у приручним кухињама, протоци воде у славинама у тоалетима и сл (табела 5.6).

Табела 5.5. Подаци прикупљени интервјуима и мерењима у пратњи особља вртића

Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]
Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]
Проток воде на славинама у приручним кухињама погодан за обављање кухињских послова	OKWF	[l/min]
Недељни број прања веш машином	LWPW	[-]
Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]

За потребе мерења протока воде на славинама коришћен је ротаметар⁶⁶ са додатном опремом која омогућава монтирање инструмента на различите типове цеви. Максимални проток воде на славинама у тоалетима представља средњу вредност максималног протока воде на славинама у свим тоалетима једне зграде. На исти начин је одређен и максимални проток воде на славинама у приручним кухињама. У истој згради није било значајног одступања протока, осим у изузетним случајевима узрокованим кваром водоводне инсталације. Са друге стране, постоје релативно значајне разлике у протоку воде у различитим зградама. Због тога је проток који се користи у приручним кухињама за прање судова у неким зградама био предодређен техничким могућностима водоводног система, а у другим регулацијом од стране особља тако да превелики проток не омета обављање радних обавеза. Како би се у првом случају одредио максимални, а у другом оптимални проток, мерења су вршена у сарадњи са кухињским особљем тј. према њиховим радним навикама.

Поред тога, један од потрошача воде у овом типу јавних зграда су и машине за прање веша. Број прања на недељном нивоу је одређен путем интервјуисања запослених. Као јединица мере усвојено је прање најчешће присутном машином капацитета 6 kg.

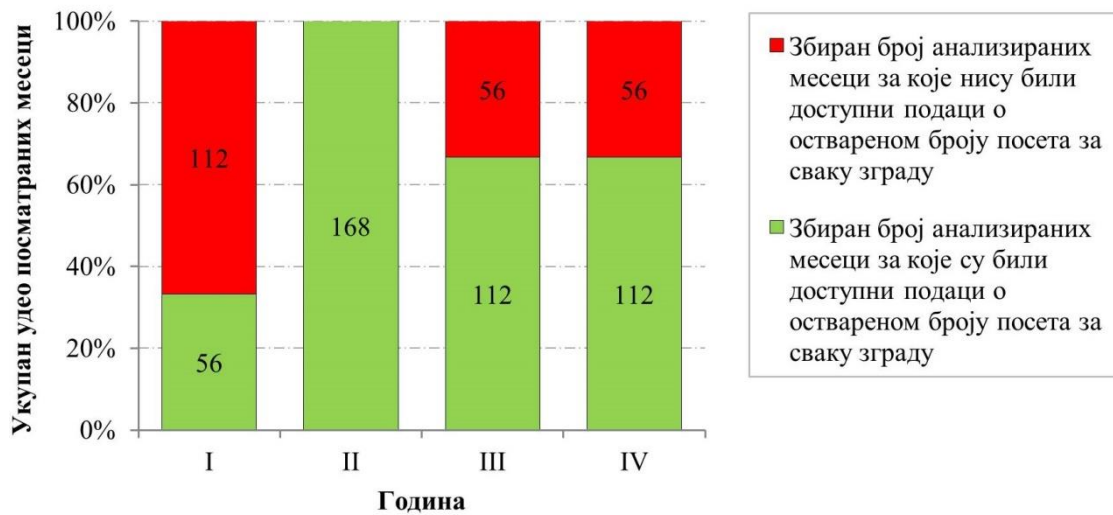
5.3. Припрема података

Припрема прикупљених података је извршена у складу са описом у тачки 4. Из анализе су искључене зграде за које није било могуће утврдити месечне вредности потрошње енергије и воде. Разлог томе су били: немогућност месечног прањења потрошње енергената за зграде које се греју на лож уље (једна зграда) и немогућност индивидуалног читавања потрошње енергије за установе смештене унутар вишенаменских зграда тј. непостојање индивидуалних мерача за потрошњу топлотне енергије (једна зграда).

Када је у питању анализа потрошње топлотне енергије за објекте прикључене на систем даљинског грејања, искључени су подаци које се тичу потрошње остварене у октобру и априлу (почетак и крај грејне сезоне), јер не представљају пуну месечну потрошњу енергије те као такви не могу бити поредбени са другим, месечним потрошњама. Такође,

⁶⁶ Инструмент за мерење протока гасова и течности релативно малих вискозности [125].

када је у питању потрошња електричне енергије и воде, из анализе су искључени поједини месеци у току године у којима нису вршена редовна читавања. Примера ради, свака два сукцесивна месеца са регистрованом потрошњом која је првог сукцесивног месеца била изразито нижа (или уопште није постојала) а наредног месеца изразито виша од очекиване, су искључени из анализе. Грешке у читавању потрошње настале на овај начин најчешће су биле присутне у току летњих месеци, у јулу и августу (време годишњих одмора) и ређе у току зимских месеци, у децембру и јануару (новогодишњи празници – нерадни дани). Поред тога, фактор који је ограничавао број испитаних месеци, за случај утврђивања образаца потрошње воде у зградама, тицао се доступности дневника присуства. Половина испитаних предшколских установа је имала уредну архиву остварених посета за период од 4 године, док је друга половина зграда имала половишно архивирани податке за трогодишњи период. Број анализираних месеци, у том смислу, био је предодређен најпре доступношћу архивских података вртића, а потом прецизношћу читавања потрошњи енергије и воде спроведених од стране јавних комуналних предузећа (слика 5.3).



Слика 5.3. Број анализираних месеци за сваку од зграда са доступним подацима о броју остварених месечних посета

6. Резултати предвиђања потрошње енергије и воде за студију случаја

У овом поглављу су приказани резултати формираних модела за предвиђање потрошње топлотне енергије, електричне енергије и воде. Предиктивна прецизност модела је представљена коефицијентима детерминације (R^2)⁶⁷ који описују линеарну корелације предвиђених и стварних вредности потрошњи, и средњом апсолутном процентном грешком (MAPE)⁶⁸, као допунском мером прецизности.

6.1. Предвиђање и праћење потрошње топлотне енергије

Статистичке карактеристике оригиналног и скупа података за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње топлотне енергије у предшколским установама су приказане у табели 6.1. Табела садржи само оне улазне податке који су у даљем делу текста означени као утицајни у процесу формирања четири предиктивна модела.

Табела 6.1. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње топлотне енергије у анализираним зградама предшколских установа [93]

Променљиве	Јединица	Укупно података у скупу (N=287)	Укупно података у подскупу за обуку модела (N=201)	Укупно података у подскупу за тест модела (N=86)	p-вредност
NB (1/2)	[-] [%]	тип 1: 263 (91,6%)	тип 1: 183 (91%)	тип 1: 80 (93%)	0,79
HFA	[m ²]	1039 ± 638	1081 ± 666	940 ± 559	0,21
HDD	[°C·day/month]	413 ± 132	413 ± 134	413 ± 126	0,98
EWNS·U	[W/K]	1099 ± 1095	1077 ± 1025	1148 ± 1247	0,29
GFA·U	[W/K]	958 ± 662	1001 ± 684	860 ± 600	0,16
SWNV	[m ²]	41 ± 24	41 ± 24	41 ± 24	0,62
RT (0/1)	[-] [%]	тип 0: 33 (81%)	тип 0: 164 (82%)	тип 0: 69 (80%)	0,86
EWNS	[m ²]	755 ± 617	772 ± 606	716 ± 644	0,13
U-EWA	[W/m ² /K]	0,79 ± 0,49	0,78 ± 0,48	0,83 ± 0,52	0,44
GFA	[m ²]	315 ± 220	332 ± 227	277 ± 197	0,07
U-FA	[W/m ² /K]	3,15 ± 0,65	3,12 ± 0,66	3,2 ± 0,62	0,39
AR	[m ⁻¹]	0,55 ± 0,16	0,55 ± 0,16	0,57 ± 0,16	0,65
BS (0/1)	[-] [%]	тип 0: 99 (34,5%)	тип 0: 65 (32,3%)	тип 0: 65 (39,5%)	0,12

6.1.1. Проста линеарна регресија

За случај примене методе прости линеарне регресије, која успоставља везу између једне зависне и једне независне променљиве, анализиран је однос специфичне потрошње топлотне енергије [kWh/m²/month] и броја грејних степен дана у току месеца. Разлог за усвајање специфичне [kWh/m²/month], а не остварене месечне потрошње енергије [kWh/month] као зависне променљиве, је чињеница да модел мора да задовољи особину универзалности, тј. да обезбеди формулу која ће описивати потрошњу енергије у свим зградама. Како различите зграде имају различите површине, зависна променљива у моделу је сведена на специфичну потрошњу. На тај начин, месечну потрошњу топлотне енергије сваке зграде је могуће добити накнадним множењем предвиђене специфичне потрошње топлотне енергије зграде и површине зграде.

⁶⁷ Веће вредности коефицијента детерминације модела (који може имати вредности у распону од 0 до 1), значе да је модел у стању да опише већи број појава укључених у модел.

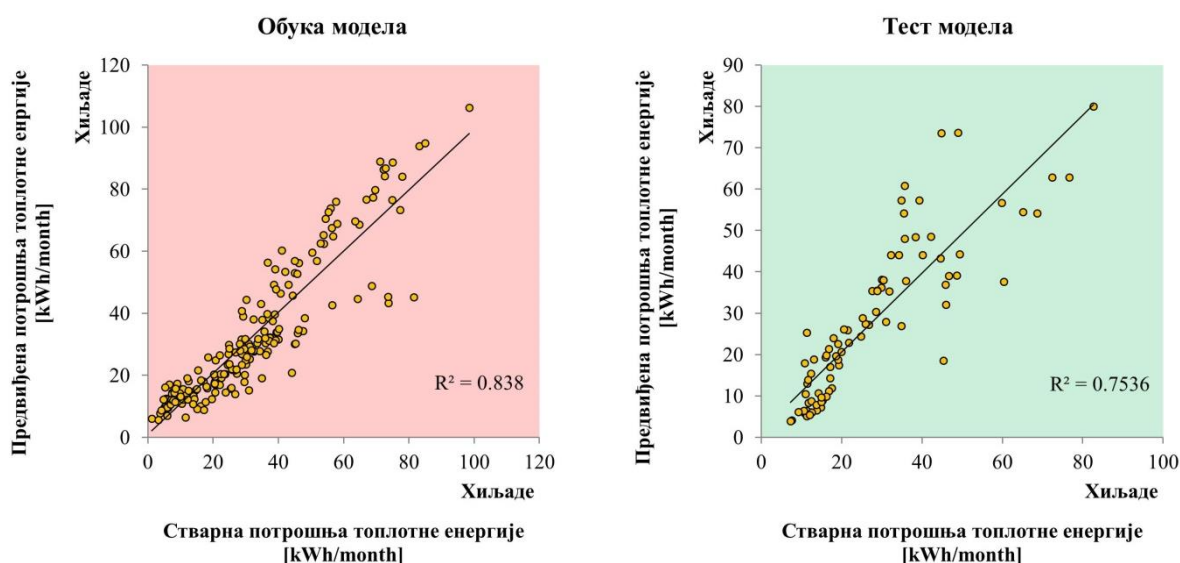
⁶⁸ Мање вредности средње апсолутне процентне грешке (које се могу кретати у распону од 0 до 1 тј. од 0 до 100%) значе да модел прави мање грешке при опису појава укључених у модел.

За потребе успостављања односа једне зависне и једне независне променљиве примењене су функције софтверског пакета MS Excel, где је једначина која представља излаз модела једначина регресионе линије дијаграма на ком ордината приказује вредност зависне променљиве (потрошњу топлотне енергије), а апсциса вредност независне променљиве (броја грејних степен дана у току месеца).

Једначина модела добијена на овај начин има облик:

$$\frac{HEC}{HFA} = 0,0527 \cdot HDD + 7,5498 \quad (6.1)$$

Однос стварне и предвиђене потрошње топлотне енергије на скупу података за обуку и на скупу података за тест модела, приказан је на слици 6.1.



Слика 6.1. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом прсте линеарне регресије [93]

SLR модел је на групи података за обуку резултовао исходима који имају свеукупну вредност MAPE од 33%, док је свеукупна вредност MAPE на тесту била за 6% мања него на скупу података за обуку. Када је у питању коефицијент детерминације, модел на тесту је имао мању прецизност него на обуци за приближно 9% (0,84 према 0,75, респективно).

Више детаља о прецизности модела у различитим распонима потрошње енергије приказано је у табели 6.2. Прецизност модела у три категорије потрошњи, релативно малим (<10 MWh/month), средњим (10 – 40 MWh/month) и великим (>40 MWh/month), изражена је средњом апсолутном процентном грешком.

Табела 6.2. Особине предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије [93]

Потрошња топлотне енергије [MWh/month]	< 10	10 – 40	> 40
Мера прецизности Скуп података	MAPE		
Обука	91%	19%	21%
Тест	81%	22%	22%

За случај распона малих потрошњи, SLR модел је на скупу података за тестирање показао релативно малу прецизност са вредностима MAPE од 81%. Вредности MAPE за распон средњих и великих потрошњи су биле једнаке и износиле 22%. У оба случаја, разлика прецизности модела на обуци и тесту није била већа од 3%. Иако SLR модел нема релативно завидну прецизност у свим распонима потрошњи, његова предност се огледа у чињеници да има релативно једноставну формулу (засновану по принципу: један улаз – један излаз) и то што омогућава једноставно доношење закључака. Графички приказ зависности специфичне потрошње енергије од броја грејних степен дана остварених у току месеца, често може да укаже на тип проблема који су узрок прекомерне потрошње енергије или неадекватног комфора у згради. На слици 6.2 су приказани различити облици регресионих кривих које могу да указују на различита стања енергетске ефикасности и термичког комфора⁶⁹ у зградама.

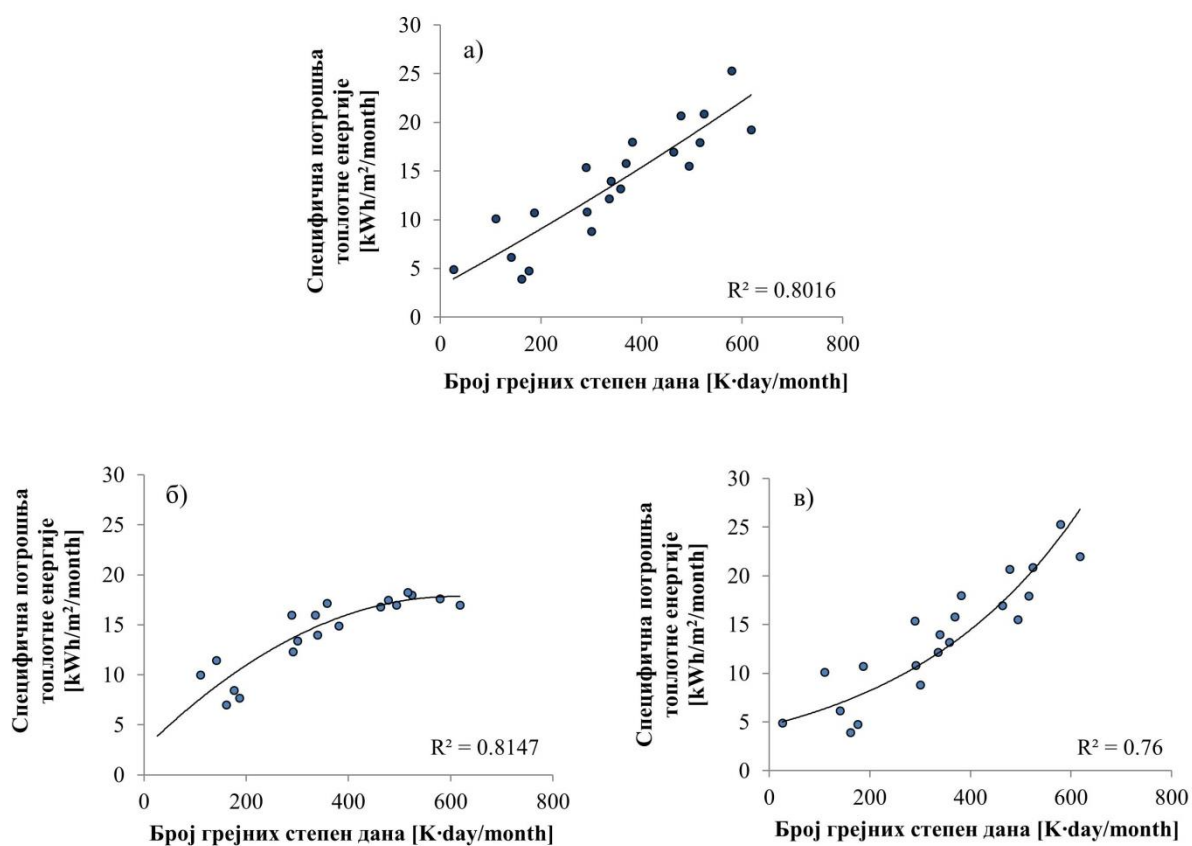
Права регресиона линија на графику (слика 6.2, а) која приказује зависност специфичне потрошње топлотне енергије од оствареног броја грејних степен дана, са релативно малим расипањем тачака које представљају специфичну потрошњу, пример је новоизграђеног објекта С енергетског разреда⁷⁰. Релативно мала удаљеност тачака од регресионе линије указује да је потрошња енергије у згради готово у потпуности условљена спољашњом температуром. Нагнутоост регресионе линије ка апсциси показује у којој мери спољашња температура утиче на потрошњу топлотне енергије, при чему мањи нагиб значи бољу термичку изолованост зграде. Са друге стране, релативно веће расипање тачака указује да на потрошњу топлотне енергије не утиче само спољашња температура, него и други фактори које методом прости линеарне регресије није могуће квантификовати.

Пример на слици 6.2 б) указује да систем за грејање није у стању да оствари пројектовану температуру амбијента када је број грејних степен дана већи од 400 K·day/month. Разлог томе може бити релативно лоше стање термичког омотача зграде, тј. у конкретном случају велике површине у стаклу⁷¹ са дотрајалом столаријом са једноструким застакљењем и челичним рамовима и/или неадекватно одржавање размењивача топлоте у топлотној подстаници.

⁶⁹ Према америчком националном стандарду *ANSI/ASHRAE Standard 55 - О топлотним условима околине погодне за људски боравак* [126], термички комфор се дефинише као задовољавајуће стање свести узроковано термичким условима окружења. Оцена термичког утицаја окружења на стање свести корисника простора се заснива на субјективном осећају.

⁷⁰ Према *Правилнику о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда* [121] прописани енергетски разред за све новоизграђене зграде у области образовања и културе је „С”, или већи. „С“ енергетски разред подразумева да је годишња потребна топлота за грејање зграде мања од 65 kWh/m².

⁷¹ Најпогоднији однос површине столарије и корисне површине зграде у погледу „паметног дизајна“ се процењује на 16 – 22% [127].



Слика 6.2. Различити примери зависности специфичне потрошње топлоте од броја грејних степен дана

Због оваквог стања, у данима са релативно ниским температурама, постојећи систем грејања није у могућности да обезбеди жељену температуру амбијента, па се зграде са оваквим обрасцем потрошње енергије карактеришу одсуством термичког комфора. Стога, полиномална регресиона линија зависности специфичне потрошње топлотне енергије од броја грејних степен дана указује на објекте који су приоритет за реконструкцију.

Други пример (слика 6.2, в)) приказује зграду са експоненцијалном регресионом линијом која представља зависност специфичне потрошње топлоте од оствареног броја грејних степен дана. Овакве зависности се јављају и код индустријских постројења са високим плафоном (складиштима) [94]. У таквим случајевима, повишена потрошња топлотне енергије се одражава на повишено акумулирање топлоте у горњим нивоима простора унутар зграде. Непостојање одговарајуће вентилације која би омогућила принудно кретање топлијег ваздуха из виших ка нижим нивоима затвореног простора, те изједначавања температуре ваздуха у вишим и нижим нивоима, може бити један од узрока нерационалне потрошње енергије. Овај проблем постаје још израженији уколико спољашњи зидови зграда немају адекватну термичку изолацију.

6.1.2. Вишеструка линеарна регресија

За потребе примене вишеструке линеарне регресије прибављене су све потенцијалне независне за које се могло претпоставити да имају реалан утицај на исход предвиђања. Међу потенцијалним независним се налазе 24 променљиве, од чега:

- Детаљи о физичким карактеристикама зграда (22):
 - 1) Година изградње (BY),
 - 2) Тип градње (TB),
 - 3) Број зграда (NB),
 - 4) Начин грејања (HS),
 - 5) Грејана површина пода (HFA),
 - 6) Величина зграде⁷² (BS),
 - 7) Грејана запремина (HV),
 - 8) Бруто површина спољашњих зидова (EWGS),
 - 9) Нето површина спољашњих зидова (EWNS),
 - 10) Површина грађевинске столарије (GFA),
 - 11) Површина плафона (CA),
 - 12) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњих зидова (U-EWA),
 - 13) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије (U-FA),
 - 14) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте плафона (U-C),
 - 15) Бруто површина термичког омотача зграде (TEGS),
 - 16) Нето површина термичког омотача зграде (TENS),
 - 17) Тип крова (RT),
 - 18) Спратност (NF),
 - 19) Производ EWNS и U-EWA (EWNS·U),
 - 20) Производ GFA и U-FA (GFA·U),
 - 21) Однос укупне површине столарије и корисне површине зграде (GFA/UFA),
 - 22) Фактор облика (AR);
- Климатски подаци (1):
 - 1) Број грејних степен дана (HDD);
- Подаци прикупљани интервјуима и мерењима у пратњи особља вртића (1):
 - 1) Површина прозора која се користи за проветравање простора (SWNV).

Након прибављања података, одређен је Спирманов коефицијент корелације за потенцијално независне и зависно променљиву. На тај начин сужен је скуп променљивих које се могу употребити за формирање MLR модела тј. могуће је издвојити само оне променљиве које заиста утичу на исход предвиђања ове методе. Корелациона матрица, која показује снагу линеарне везе између потенцијалних независно променљивих и зависне променљиве и између независно променљивих појединачно, приказана је у табели 6.3.

⁷² Класификација зграда према „величини“ (на веће или мање од 500 m²) усвојена из Националне типологије зграда предшколских установа у Србији [43].

На основу вредности коефицијената у матрици, за формирање MLR модела, као потенцијално независне, одабране су оне променљиве чија је апсолутна вредност коефицијента корелације са зависно променљивом већа од 0,2, а са другим потенцијално независним мања од коефицијента корелације са зависном променљивом, или је у рангу слабе корелације⁷³.

⁷³ За слабу линеарну зависност се може сматрати зависност између две променљиве када је њихов коефицијент корелације мањи од 0,3 [73].

Табела 6.3. Корелациона матрица потенцијалних променљивих које могу имати утицај на исход предвиђања MLR модела

	HEC	HDD	BY	TB	NB	HS	HFA	BS	HV	EWGS	EWNS	GFA	CA	U-EWA	U-FA	U-C	TEGS	TENS	RT	NF	EWNS·U	GFA·U	GFA/UFA	AR	SWNV
HEC	1,0	0,2	0,0	-0,6	-0,2	0,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,5	0,1	0,1	-0,2	0,9	0,8	0,0	0,5	0,5	0,9	0,6	-0,3	0,7
HDD	0,2	1,0	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
BY	0,0	-0,1	1,0	0,6	-0,4	0,4	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,4	-0,5	-0,4	0,2	0,2	0,1	-0,3	-0,3	0,1	-0,2	0,0	-0,2
TB	-0,6	-0,1	0,6	1,0	-0,1	0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,5	-0,4	0,0	-0,5	-0,5	0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	0,3	-0,6
NB	-0,2	0,1	-0,4	-0,1	1,0	-0,2	-0,4	0,4	0,5	0,0	0,2	-0,2	-0,1	0,2	0,4	0,5	-0,2	0,0	0,1	-0,4	0,3	-0,3	-0,1	0,5	0,0
HS	0,1	-0,1	0,4	0,2	-0,2	1,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	-0,2	0,0	0,1	-0,2	0,2	-0,3
HFA	0,9	-0,1	0,1	-0,6	-0,4	0,1	1,0	0,8	0,6	0,8	0,7	0,9	0,5	0,0	0,0	-0,4	0,9	0,8	0,1	0,6	0,4	1,0	0,5	-0,6	0,7
BS	0,8	-0,1	0,0	-0,6	0,4	0,1	0,8	1,0	0,4	0,7	0,6	0,8	0,6	0,0	-0,2	-0,4	0,8	0,7	-0,3	0,5	0,3	0,8	0,7	-0,4	0,6
HV	0,7	0,0	-0,1	-0,6	0,5	0,0	0,6	0,4	1,0	0,8	0,8	0,7	0,4	0,0	0,2	0,0	0,7	0,8	0,2	0,2	0,5	0,6	0,4	-0,1	0,6
EWGS	0,8	0,0	0,0	-0,6	0,0	0,2	0,8	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	0,5	0,0	0,0	0,1	0,9	0,9	0,2	0,6	0,6	0,9	0,7	-0,1	0,7
EWNS	0,8	0,0	-0,1	-0,6	0,2	0,2	0,7	0,6	0,8	1,0	1,0	0,8	0,4	0,1	0,1	0,1	0,8	0,9	0,2	0,4	0,7	0,8	0,5	0,0	0,6
GFA	0,8	0,0	0,0	-0,6	-0,2	0,0	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	0,9	0,8	0,0	0,6	0,4	0,9	0,8	-0,3	0,7
CA	0,5	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,3	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	1,0	0,0	-0,1	0,1	0,6	0,6	-0,1	-0,1	-0,1	0,4	0,4	0,1	0,2
U-EWA	0,1	0,0	-0,4	-0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	-0,1	0,0	1,0	0,8	0,1	-0,1	0,0	-0,4	0,0	0,6	0,0	0,1	0,0	0,1
U-FA	0,1	0,1	-0,5	-0,4	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,2	0,0	0,1	-0,2	-0,1	0,8	1,0	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	-0,2	-0,2	0,2
U-C	-0,2	0,1	-0,4	0,0	0,5	0,3	-0,4	-0,4	0,0	0,1	0,1	-0,2	0,1	0,1	0,2	1,0	-0,2	0,0	0,5	-0,2	0,1	-0,2	0,0	0,7	-0,3
TEGS	0,9	-0,1	0,2	-0,5	-0,2	0,2	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	0,9	0,6	-0,1	-0,2	-0,2	1,0	0,9	0,1	0,4	0,4	0,9	0,7	-0,2	0,6
TENS	0,8	0,0	0,2	-0,5	0,0	0,3	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,6	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	0,2	0,4	0,5	0,9	0,5	-0,1	0,6
RT	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	-0,3	0,2	0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,0	0,5	0,1	0,2	1,0	0,0	-0,1	0,1	-0,3	0,0	-0,1
NF	0,5	0,0	-0,3	-0,5	-0,4	-0,2	0,6	0,5	0,2	0,6	0,4	0,6	-0,1	0,0	0,1	-0,2	0,4	0,4	0,0	1,0	0,4	0,7	0,5	-0,6	0,8
EWNS·U	0,5	0,0	-0,3	-0,6	0,3	0,0	0,4	0,3	0,5	0,6	0,7	0,4	-0,1	0,6	0,5	0,1	0,4	0,5	-0,1	0,4	1,0	0,5	0,5	0,0	0,4
GFA·U	0,9	0,0	0,1	-0,6	-0,3	0,1	1,0	0,8	0,6	0,9	0,8	0,9	0,4	0,0	0,0	-0,2	0,9	0,9	0,1	0,7	0,5	1,0	0,7	-0,5	0,7
GFA/UFA	0,6	0,0	-0,2	-0,6	-0,1	-0,2	0,5	0,7	0,4	0,7	0,5	0,8	0,4	0,1	-0,2	0,0	0,7	0,5	-0,3	0,5	0,5	0,7	1,0	0,0	0,4
AR	-0,3	0,0	0,0	0,3	0,5	0,2	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	-0,2	-0,3	0,1	0,0	-0,2	0,7	-0,2	-0,1	0,0	-0,6	0,0	-0,5	0,0	1,0	-0,5
SWNV	0,7	0,0	-0,2	-0,6	0,0	-0,3	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,2	0,1	0,2	-0,3	0,6	0,6	-0,1	0,8	0,4	0,7	0,4	-0,5	1,0

Према таквом одабиру, за потребе формирања MLR разматране су следеће променљиве:

- 1) Број грејних степен дана (HDD),
- 2) Број зграда (NB),
- 3) Величина зграде (BS) (мања или већа од 500 m²),
- 4) Производ нето површине спољашњих зидова и њиховог коефицијента пролаза топлоте (EWNS·U),
- 5) Производ укупне површине грађевинске столарије и просечне вредности коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије (GFA·U) и
- 6) Површина прозора која се користи за проветравање простора (SWNV).

Након одабира потенцијално независних, одређени су фактори инфлације варијанси како би се одабрани скуп испитао на мултиколинеарност. За све променљиве скупа, VIF је нижи од 4. На основу тога се може закључити да међу одабраним променљивим нема мултиколинеарности, те да се променљиве могу сматрати независним. Табела 6.4 приказује статистичке детаље добијеног MLR модела.

Табела 6.4. Дескриптивна статистика MLR модела [93]

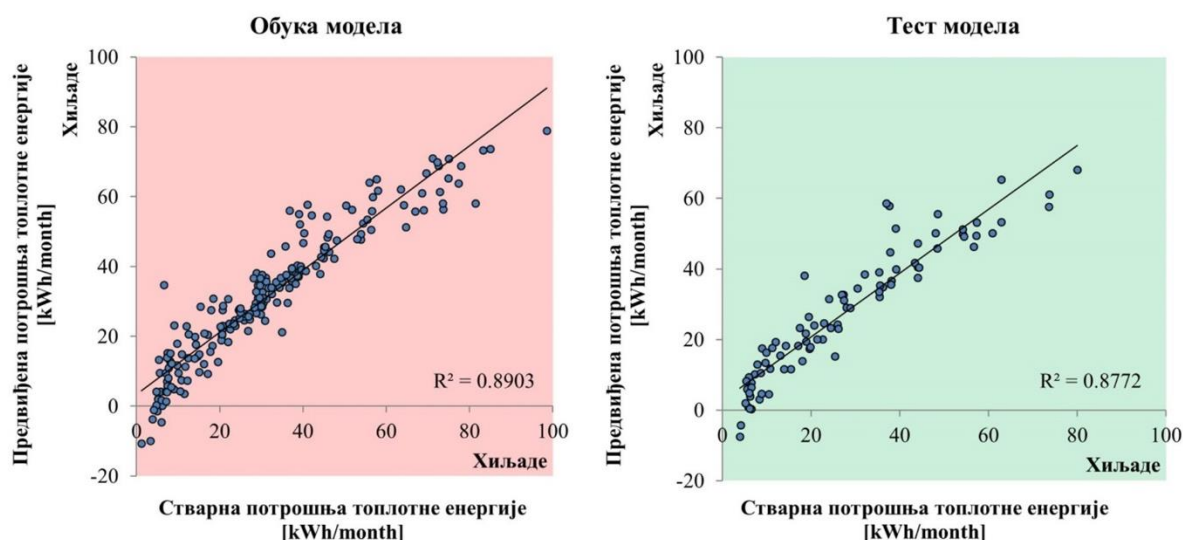
Променљиве	Јединица	Коефицијенти		Стандардна грешка	t^{74}	p -вредност ⁷⁴	VIF
Intercept	[-]	β_0	-29186,00	3001,04	-9,73	0,00	-
HDD	[°C·day/month]	β_1	6386,92	1640,03	3,89	0,00	1,03
NB	[-]	β_2	6506,47	2028,73	3,21	0,00	1,26
BS	[-]	β_3	57,70	3,64	15,84	0,00	2,44
EWNS·U	[W/K]	β_4	1,54	0,55	2,79	0,01	1,37
GFA·U	[m ²]	β_5	21,59	1,04	20,80	0,00	3,31
SWNV	[m ²]	β_6	46,88	23,16	2,02	0,04	2,79

За потребе одређивања коефицијената корелација и фактора инфлације варијанси коришћен је софтверски пакет SPSS, а за потребе формирања MLR модела је коришћена палета алата „Analysis ToolPak“ у софтверском пакету MS Excel. Разлог за њихову комбиновану примену су веће могућности за избор статистичких тестова са једне стране (SPSS) и могућности накнадне обраде и приказивања података са друге (MS Excel). Добијена једначина која описује MLR модел има облик:

$$HEC = -29186 + 6386,92 \cdot HDD + 6506,47 \cdot NB + 57,7 \cdot BS + 1,54 \cdot EWNS \cdot U + 21,59 \cdot GFA \cdot U + 48,88 \cdot SWNV \quad (6.2)$$

Однос стварне потрошње топлотне енергије и потрошње топлотне енергије предвиђене MLR методом, на скупу података за обуку и на скупу података за тест модела, приказан је на слици 6.3.

⁷⁴ Апсолутне вредности t статистичког теста веће од 1,4, и p -вредности мање од 0,05, указују да независна променљива утиче на исход предвиђања.



Слика 6.3. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом вишеструке линеарне регресије [93]

MLR модел је на групи података за обуку резултовао исходима са свеукупном вредношћу MAPE од 33% и коефицијентом детерминације од 0,89. На групи података за тестирање модел је остварио за 2% мању вредност MAPE и за 1% мањи коефицијент детерминације (31% и 0,88, респективно). Више детаља о прецизности модела у различитим распонима потрошње енергије приказано је у табели 6.5. Прецизност модела у три категорије потрошњи, релативно малим (<10 MWh/month), средњим (10 – 40 MWh/month) и великим (>40 MWh/month) потрошњама топлоте, изражена је средњом апсолутном процентном грешком.

Табела 6.5. Особине MLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије [93]

Потрошња топлотне енергије [MWh/month]	< 10	10 – 40	> 40
Мера прецизности Скуп података	<i>MAPE</i>		
Обука	118%	16%	11%
Тест	70%	21%	11%

На слици 6.3 је могуће видети да око 10% предвиђених вредности потрошње топлотне енергије има негативан предзнак. Ове грешке у предвиђању су узроковане негативном вредношћу пресека (b_0) MLR формуле, која је формирана за случај где је 90% анализираних грејних степен дана у току месеца било изнад 250 K·day. Због тога, модел није погодан да обезбеди задовољавајуће предикције за случајеве где је број грејних степен дана у току месеца мањи од поменутог (почетак и крај грејне сезоне). Последице оваквих предвиђања чине да MAPE у распону малих потрошњи на скупу података за обуку буде 118%, а на скупу података за тест 70%. У распону средњих потрошњи, MAPE модела је незанемарљиво мања, 16% на обуци и 21% на тесту. Најбољу прецизност предвиђања, модел је показао за распон потрошњи већи од 40 MWh/month са истом вредношћу MAPE на оба скупа података (11%).

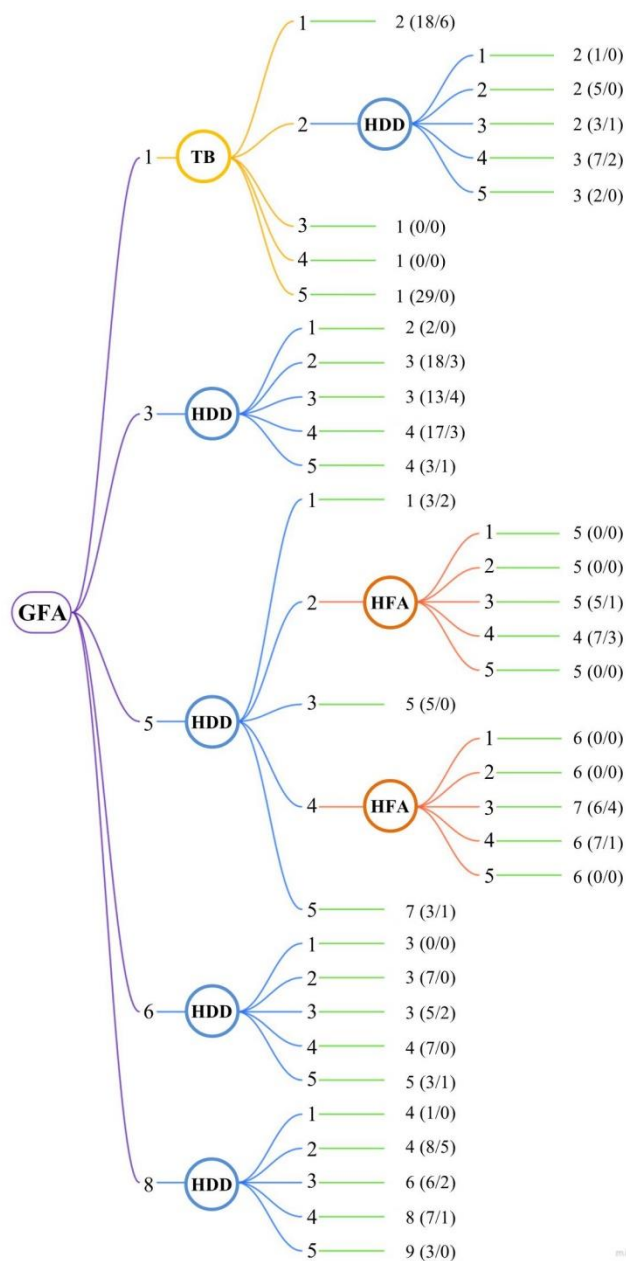
6.1.3. Стабло одлучивања

SLR и MLR методе захтевају тачне нумеричке вредности независних улаза (које се у већини случајева апроксимирају према упутствима приручника или усредњавају у складу са више различитих мерења). Са тим у вези, процес прикупљања података може бити релативно захтеван, а може се десити да прикупљене нумеричке вредности не дају потпуно тачан опис појава или детаља које представљају. Стабло одлучивања са друге стране, као класификациона метода, не захтева улазе нумеричких вредности већ може бити формирано на основу улаза који су изражени категоријама. У том смислу, предност класификационе методе је једноставнији процес прикупљања података, а недостатак то што су излази из модела, као и улази, номиналне вредности, тј. категорије. Сходно томе, модел стабла одлучивања предвиђене вредности разврстава у неке од унапред предефинисаних исхода. Број предефинисаних исхода зависи од потреба истраживања и могућности модела. Примера ради, стабло одлучивања направљено за случај предвиђања потрошње енергије у стамбеним зградама у Јапану [41], има бинарни исход – потрошњу високог или ниског енергетског интензитета. Како међу јавним зградама има више разлика него међу стамбеним, у смислу површине објеката и стања њиховог термичког омотача, само две категорије потрошње топлотне енергије не би биле довољно прецизан исход предвиђања. Због тога су, за конкретан случај истраживања, исходи предвиђања потрошње топлотне енергије предшколских установа подељени на девет класа (табела 6.6).

Табела 6.6. Категорије улазних и излазних променљивих модела [93]

Класа/ Категорија [-]	Независна променљива и зависне променљиве					Просечна потрошња категорија [MWh/month]
	<i>HEC</i> [MWh/month]	<i>HDD</i> [°C·day/month]	<i>HFA</i> [m ²]	<i>TB</i> [-]	<i>GFA</i> [m ²]	
1	< 10	< 200	< 500	< 1947	< 100	5
2	10–20	200–300	500–1000	1947–1970	100–200	15
3	20–30	300–400	1000–1500	1970–1980	200–300	25
4	30–40	400–500	1500–2000	1980–1991	300–400	35
5	40–50	500–600	2000 >	1991 >	400–500	45
6	50–60	600–700			500–600	55
7	60–70	700 >			600–700	65
8	70–80				700–800	75
9	80 >					85

Подела улазних и излазних променљивих на класе је извршена тако да за сваку променљиву постоји подједнак корак поделе. Примера ради, разлика суседних класа које описују месечну потрошњу топлотне енергије је 10 MWh, оних које описују број грејних степен дана 100 K·day, грејану површину зграде – 500 m², укупну површину столарије – 100 m², док је сваки тип градње смештен у по једну категорију. За потребу формирања стабла одлучивања коришћен је C4.5 тј. J48 алгоритам [95] у софтверском пакету WEKA. Графички приказ тим путем формираног стабла одлучивања за предвиђање потрошње топлотне енергије у предшколским установама приказан је на слици 6.4.



Слика 6.4. Стабло одлучивања за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије

У чворовима стабла су приказане променљиве према чијим вредностима се, у зависности од „питања“ које се за променљиву поставља, стабло грана до следећег чвора, тј. све док се не дође до закључка о класификацији улазног податка у „листу“ стабла. У „листовима“ стабла су приказане класе потрошње топлотне енергије. Поред ознаке класе, у заградама је приказан укупан број тачно и погрешно класификованих инстанци у листу. На основу формираног стабла могуће је дефинисати правила одлучивања потрошње топлотне енергије. У табели 6.7 су приказани распони вредности променљивих које представљају класе.

Табела 6.7. Правила одлучивања за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије

#	Правила одлучивања	Предвиђена потрошња топлотне енергије [MWh/month]
1	Ако је GFA ≤ 100 и TB < 1947	15
2	Ако је GFA ≤ 100, 1947 < TB ≤ 1970 и HDD ≤ 200	15
3	Ако је GFA ≤ 100, 1947 < TB ≤ 1970 и 200 < HDD ≤ 300	15
4	Ако је GFA ≤ 100, 1947 < TB ≤ 1970 и 300 < HDD ≤ 400	15
5	Ако је GFA ≤ 100, 1947 < TB ≤ 1970 и 400 < HDD ≤ 500	25
6	Ако је GFA ≤ 100, 1947 < TB ≤ 1970 и 500 < HDD ≤ 600	25
7	Ако је GFA ≤ 100 и 1970 < TB ≤ 1980	5
8	Ако је GFA ≤ 100 и 1980 < TB ≤ 1991	5
9	Ако је GFA ≤ 100 и TB > 1991	5
10	Ако је 200 < GFA ≤ 300 и HDD < 200	15
11	Ако је 200 < GFA ≤ 300 и 200 < HDD ≤ 300	25
12	Ако је 200 < GFA ≤ 300 и 300 < HDD ≤ 400	25
13	Ако је 200 < GFA ≤ 300 и 400 < HDD ≤ 500	35
14	Ако је 200 < GFA ≤ 300 и 500 < HDD ≤ 600	35
15	Ако је 400 < GFA ≤ 500 и HDD ≤ 200	45
16	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 200 < HDD ≤ 300 и HFA ≤ 500	45
17	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 200 < HDD ≤ 300 и 500 < HFA ≤ 1000	45
18	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 200 < HDD ≤ 300 и 1000 < HFA ≤ 1500	45
19	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 200 < HDD ≤ 300 и 1500 < HFA ≤ 2000	35
20	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 200 < HDD ≤ 300 и 2000 < HFA ≤ 2500	45
21	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 300 < HDD ≤ 400	45
22	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 400 < HDD ≤ 500 и HFA ≤ 500	55
23	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 400 < HDD ≤ 500 и 500 < HFA ≤ 1000	55
24	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 400 < HDD ≤ 500 и 1000 < HFA ≤ 1500	65
25	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 400 < HDD ≤ 500 и 1500 < HFA ≤ 2000	55
26	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 400 < HDD ≤ 500 и 2000 < HFA ≤ 2500	55
27	Ако је 400 < GFA ≤ 500, 500 < HDD ≤ 600	65
28	Ако је 500 < GFA ≤ 600 и HDD ≤ 200	25
29	Ако је 500 < GFA ≤ 600 и 200 < HDD ≤ 300	25
30	Ако је 500 < GFA ≤ 600 и 300 < HDD ≤ 400	25
31	Ако је 500 < GFA ≤ 600 и 400 < HDD ≤ 500	35
32	Ако је 500 < GFA ≤ 600 и 500 < HDD ≤ 600	45
33	Ако је 700 < GFA ≤ 800 и HDD ≤ 200	35
34	Ако је 700 < GFA ≤ 800 и 200 < HDD ≤ 300	35
35	Ако је 700 < GFA ≤ 800 и 300 < HDD ≤ 400	55
36	Ако је 700 < GFA ≤ 800 и 400 < HDD ≤ 500	75
37	Ако је 700 < GFA ≤ 800 и 500 < HDD ≤ 600	85

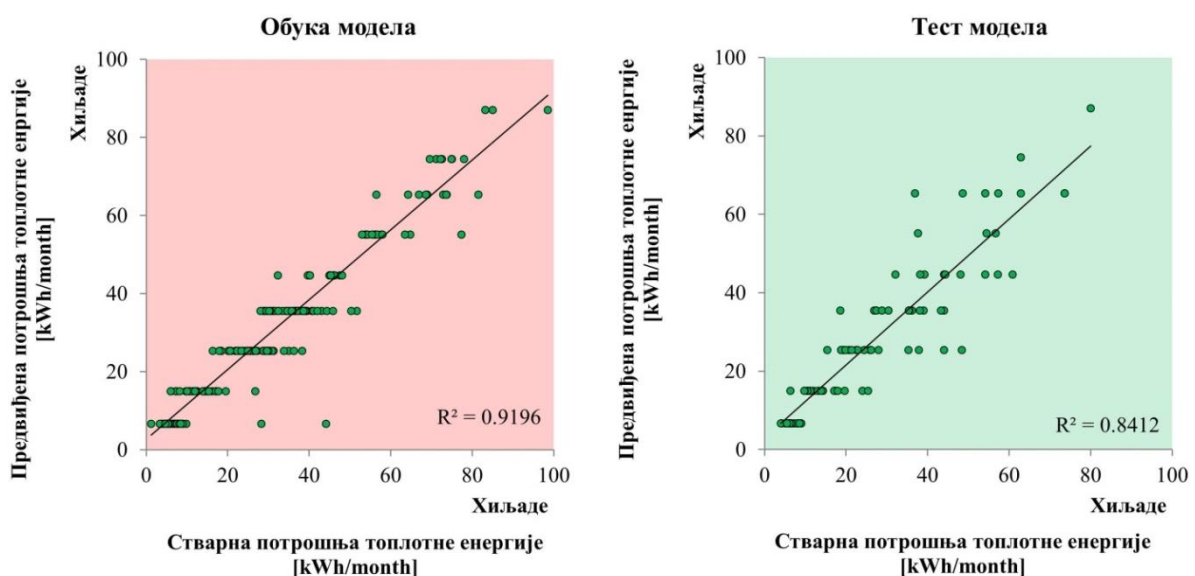
Укупан број класификованих инстанци у листовима стабла је 201, од којих је 136 (67,7 %) тачно, и 65 (32,3%) нетачно класификованих. Расподела погрешно класификованих инстанци по категоријама приказана је у матрици забуне⁷⁵ у табели 6.8.

⁷⁵ Матрица забуне (или конфузиона матрица) приказује перформансе класификације променљивих. Редови у матрици показују стварну, а колоне додељену класу променљиве.

Табела 6.8. Матрица забуне класификације стабла одлучивања

Стварне вредности категорија									Додељене вредности категорија	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
29	6	1	0	0	0	0	0	0		1
0	22	4	0	0	0	0	0	0		2
0	1	43	3	0	0	0	0	0		3
0	0	12	27	1	0	0	0	0		4
0	0	12	4	2	0	0	0	0		5
0	0	0	9	0	4	0	0	0		6
0	0	0	3	2	1	0	1	0		7
0	0	0	2	1	1	0	6	0		8
0	0	0	1	0	0	0	0	3	9	

Највећи број погрешно класификованих инстанци присутан је од треће до пете категорије потрошње топлотне енергије (табела 6.6) тј. за распон потрошњи од 20 – 50 MWh/month. За одабрани начин класификације, у овом распону потрошњи (62% укупно класификованих инстанци), 58% је тачно класификовано, а код преосталих инстанци грешка класификације је таква да је 17% инстанци класификовано у неку од првих суседних категорија, 19% инстанци је погрешно класификовано за две категорије изнад или испод стварне, а преостале инстанце су класификоване са грешком од 3 или 4 категорије. У 70% случајева грешке настале класификације имају особину да инстанцу сврстају у неку од виших категорија, тј. да покажу већу потрошњу топлотне енергије од стварне. Однос стварне потрошње топлотне енергије и потрошње топлотне енергије предвиђене методом стабла одлучивања, на скупу података за обуку и на скупу података за тест модела, приказан је на слици 6.5.



Слика 6.5. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом стабла одлучивања (C4.5) [93]

DT модел је на групи података за обуку резултовао исходима са свеукупном вредношћу MAPE од 20% и коефицијентом детерминације од 0,92. На групи података за тестирање модел је остварио за 4% већу вредност MAPE и за 8% мањи коефицијент детерминације (24% и 0,84, респективно). Прецизност модела у три категорије потрошњи, релативно малим (<10 MWh/month), средњим (10 – 40 MWh/month) и великим (>40 MWh/month) потрошњама топлоте, изражена средњом апсолутном процентном грешком, приказана је у табели 6.9.

Табела 6.9. Особине DT предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије [93]

Потрошња топлотне енергије [MWh/month]	< 10	10 – 40	> 40
Мера прецизности Скуп података	MAPE		
Обука	51%	15%	10%
Тест	28%	24%	16%

DT модел је у распону малих потрошњи показао најмању предиктивну прецизност, 51% и 28% MAPE на скупу података за обуку и тест модела, респективно. У распону средњих потрошњи модел је остварио бољу прецизност на скупу података за обуку него на скупу података за тест (15% и 24% MAPE, респективно). Најпрецизнија предвиђања модел даје за групу високих потрошњи и то са вредностима MAPE за више од 5% мањим него у распону средњих потрошњи (10% и 16% MAPE на обуци и тесту, респективно).

6.1.4. Вештачке неуронске мреже

Применом генетског алгоритма, као саставног елемента еволутивно склопљене вештачке неуронске мреже, одабране су променљиве које имају реалан утицај на исход предвиђања мреже, и оптимални параметри мреже за које ће мрежа дати оптималне исходе предвиђања.

Променљиве које су изабране генетским алгоритмом као оне које имају реалан утицај на исход предвиђања су:

- 1) Број грејних степен дана (HDD),
- 2) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњих зидова (U-EWA),
- 3) Површина грађевинске столарије (GFA),
- 4) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије (U-FA)
- 5) Тип крова (RT)

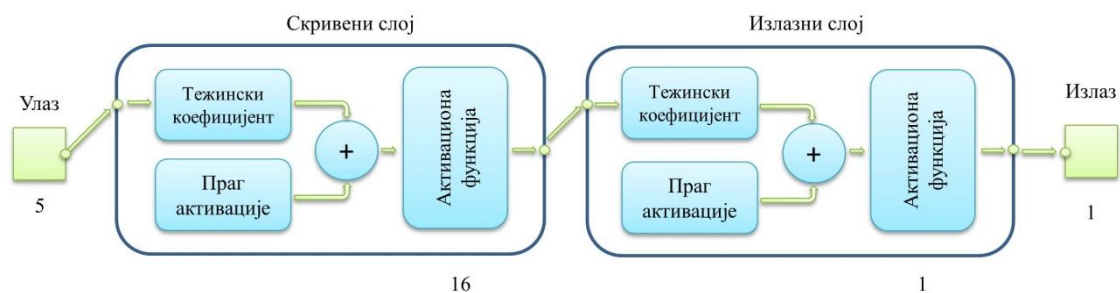
Оптимални параметри конфигуриране мреже су: број неурона у скривеном слоју (16), тип активационе функције у слојевима (у скривеном слоју: *elliotsig*⁷⁶, у излазном слоју: *logsig*⁷⁷), алгоритам учења (*trainlm*⁷⁸), број епоха учења (1000), моментум (0,001).

⁷⁶ *elliotsig* - у научној литератури акроним за „elliot symmetric sigmoid transfer function“ тј. Елиотову симетричну сигмоидну активациону функцију.

⁷⁷ *logsig* - у научној литератури акроним за „log-sigmoid transfer function“ тј. логаритамску сигмоидну активациону функцију.

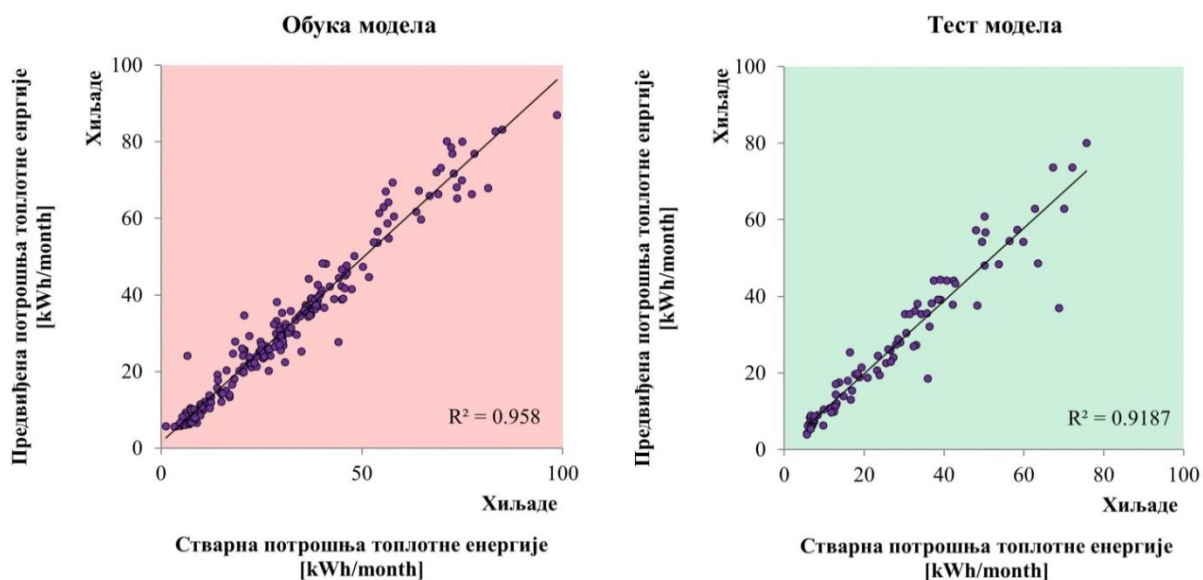
⁷⁸ *trainlm* - у научној литератури представља алгоритам учења заснован на „Levenberg-Marquardt“ методи прорачуна грешке сваког неурона након обраде серије података.

Шаблон оптимално конфигуриране вештачке неуронске мреже за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије у предшколским установама приказан је на слици 6.6.



Слика 6.6. Вештачка неуронска мрежа конфигурирана за случај предвиђања потрошње топлотне енергије у предшколским установама

Однос стварне потрошње топлотне енергије и потрошње топлотне енергије предвиђене методом вештачких неуронских мрежа, на скупу података за обуку и на скупу података за тест модела, приказан је на слици 6.7.



Слика 6.7. Поређење стварних и потрошњи топлотне енергије предвиђених методом вештачких неуронских мрежа [93]

ANN је на скупу података за обуку модела резултовао вредношћу коефицијента детерминације од 0,96, а на скупу за тестирање модела вредношћу коефицијента од 0,92. Вредност MAPE на скупу података за тест и обуку модела је била иста, 14%. Прецизност модела у три категорије потрошњи, релативно малим (<10 MWh/month), средњим (10 – 40 MWh/month) и великим (>40 MWh/month) потрошњама топлоте, изражена средњом апсолутном процентном грешком, приказана је у табели 6.10.

Табела 6.10. Особине ANN предиктивног модела за различите распоне потрошњи топлотне енергије [93]

Потрошња топлотне енергије [MWh/month]	< 10	10 – 40	> 40
Мера прецизности Скуп података	<i>MAPE</i>		
Обука	38%	9%	8%
Тест	16%	14%	9%

ANN модел је најмању прецизност показао у области малих потрошњи енергије, са вредношћу MAPE од 16% на скупу података за тест и више него дуплом вредношћу MAPE на групи података за обуку модела (38%). Незанемарљиво већу прецизност модел је остварио у области средњих и великих потрошњи са вредностима MAPE од 9% и 8% респективно, на скупу података за обуку модела, и 14% и 9% на скупу података за тестирање модела.

6.2. Предвиђање и праћење потрошње електричне енергије

За потребе формирања модела за предвиђање потрошње електричне енергије у јавним зградама посматран је узорак који чини 14 зграда предшколских установа. Анализирани подаци о месечној потрошњи електричне енергије су прибављени за период од пет година, а пречишћени су у складу са поступком описаним у тачки 5.3.

За потребе формирања предиктивних модела прибављени су подаци о 34 променљиве⁷⁹ које би могле да утичу на потрошњу електричне енергије, међу којима су:

- Детаљи о физичким карактеристикама зграда (11):
 - 1) Година изградње (BY),
 - 2) Грејана површина пода (HFA),
 - 3) Површина грађевинске столарије (GFA),
 - 4) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије (U-FA),
 - 5) Тип грађевинске столарије (FT),
 - 6) Производ GFA и U-FA (GFA·U),
 - 7) Нето површина спољашњих зидова (EWNS),
 - 8) Средња вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњих зидова (U-EWA),
 - 9) Производ EWNS и U-EWA (EWNS·U),
 - 10) Спратност (NF),
 - 11) Број зграда (NB);
- Детаљи о месечној посећености (1):
 - 1) Постојање јаслене групе у установи (EN),
- Детаљи о електричним инсталацијама (11):

⁷⁹ Остварени број месечних посета није коришћен као фактор од утицаја јер су дневници присуства, у просеку, били доступни за период мањи од три године. При том, бележено присуство је, за различите зграде, било доступно за различите периоде.

- 1) Укупан број бројила (NC),
- 2) Одобрена снага бројила (PL),
- 3) Хладњача (не/да) (CR),
- 4) Вешерај (не/да) (LR),
- 5) Кухиња (не/да) (K),
- 6) Укупна снага спољашње расвете (PL150),
- 7) Укупна снага расвете (PLSUM),
- 8) Укупна снага клима уређаја (PHVAC),
- 9) Укупна снага бојлера за топлу воду (PWB),
- 10) Недељни број прања веш машином (LWPW),
- 12) Укупан број сати рада расвете у току месеца (HLU).

- Климатски подаци (11):

- 1) Месец (M),
- 2) Број грејних степен дана (HDD),
- 3) Сума средњих дневних температура у току месеца (T_m),
- 4) Сума минималних дневних температура у току месеца (T_{min}),
- 5) Сума максималних дневних температура у току месеца (T_{max}),
- 6) Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 22°C ($NT_m > 22^{\circ}\text{C}$),
- 7) Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 26°C ($NT_m > 26^{\circ}\text{C}$),
- 8) Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 30°C ($NT_m > 30^{\circ}\text{C}$),
- 9) Број дана у месецу са максималним температурама већим од 22°C ($NT_{max} > 22^{\circ}\text{C}$),
- 10) Број дана у месецу са максималним температурама већим од 26°C ($NT_{max} > 26^{\circ}\text{C}$),
- 11) Број дана у месецу са максималним температурама већим од 30°C ($NT_{max} > 30^{\circ}\text{C}$).

Линеарна зависност међу улазним променљивим и потрошњом електричне енергије одређена је Спримановим коефицијентом корелације. Резултати Сприманове корелације приказани су корелационој матрици у табели 6.11.

Како ни један од улазних променљивих са континуираним вредностима није показала линеарну везу са зависно променљивом, у посматраном случају, линеарне методе су оцењене као неподесне за потребе предвиђања потрошње електричне енергије.

Поред тога, из разговора са особљем закључено је да су читавања месечне потрошње електричне енергије нередовна, те у процесу прикупљања и пречишћавања података није било могуће у потпуности уочити месеце са непрецизним читавањима. Због тога је упитно временско поклапање прикупљених података који могу утицати на потрошњу електричне енергије, а који су прикупљени за период од почетка до краја месеца и месечне потрошње електричне енергије чије је поклапање са почетком и крајем месеца неизвесно. Између осталог, ово је утицало на релативно лоше исходе предвиђања месечне потрошње електричне енергије класификационом методом стабла одлучивања. Исходи тог предвиђања нису дали резултате који би допринели дубљем разумевању услова потрошње електричне енергије у вртићима због чега неће бити описани у даљем тексту.

6.2.1. Вештачке неуронске мреже

За потребе одабира параметара који утичу на исход предвиђања и предвиђања потрошње електричне енергије примењен је EAANN модел. Променљиве које имају реалан утицај на исход предвиђања овом методом, добијене применом генетског алгоритма у склопу EAANN модела су:

- 1) Година изградње (BY),
- 2) Укупан број бројила (NC),
- 3) Површина грађевинске столарије (GFA),
- 4) Нето површина спољашњих зидова (EWNS),
- 5) Кухиња (не/да) (K),
- 6) Укупна снага расвете (PLSUM),
- 7) Укупна снага клима уређаја (PHVAC),
- 8) Сума средњих дневних температура у току месеца (T_m),
- 9) Број дана у месецу са максималним температурама већим од 22°C ($NT_{\max} > 22$).

Статистичке карактеристике оригиналног и скупа података за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње електричне енергије у предшколским установама су приказане у табели 6.12. Табела садржи само оне улазне податке који су у даљем делу текста означени као утицајни у процесу формирања предиктивних модела.

Табела 6.12. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње електричне енергије у анализираним зградама предшколских установа

Променљиве	Јединица	Укупно података у скупу (N=670)	Укупно података у подскупу за обуку модела (N=446)	Укупно података у подскупу за тест модела (N=224)	p-вредност
EEC	[kWh/month]	3996,41 ± 3661,26	3872,24 ± 3556,43	4243,65 ± 3857,8	0,322
PLSUM	[kW]	9,46 ± 7,01	9,52 ± 6,95	9,33 ± 7,15	0,503
PHVAC	[kW]	20,5 ± 13,28	20,26 ± 13,36	21,06 ± 13,14	0,363
K	[-] [%]	тип 0: 23 (0,034%)	12 (0,018%)	11 (0,049%)	0,136
BY	[-]	1976 ± 16,35	1977 ± 16	1975 ± 17	0,233
NC	[-] [%]	тип 1: 565 (99,84%)	тип 1: 374 (99,89%)	тип 1: 191 (99,85%)	0,635
GFA	[m ²]	315,7 ± 216,43	312,82 ± 215,33	318,46 ± 219,05	0,795
EWNS	[m ²]	693,3 ± 638,54	700,64 ± 651,2	678,7 ± 613,7	0,771
T_m	[°C]	355,68 ± 228,67	345,55 ± 228,58	173,12 ± 228,03	0,07
$NT_{\max} > 22^\circ\text{C}$	[-]	9,22 ± 11,13	8,9 ± 10,88	9,87 ± 11,61	0,267

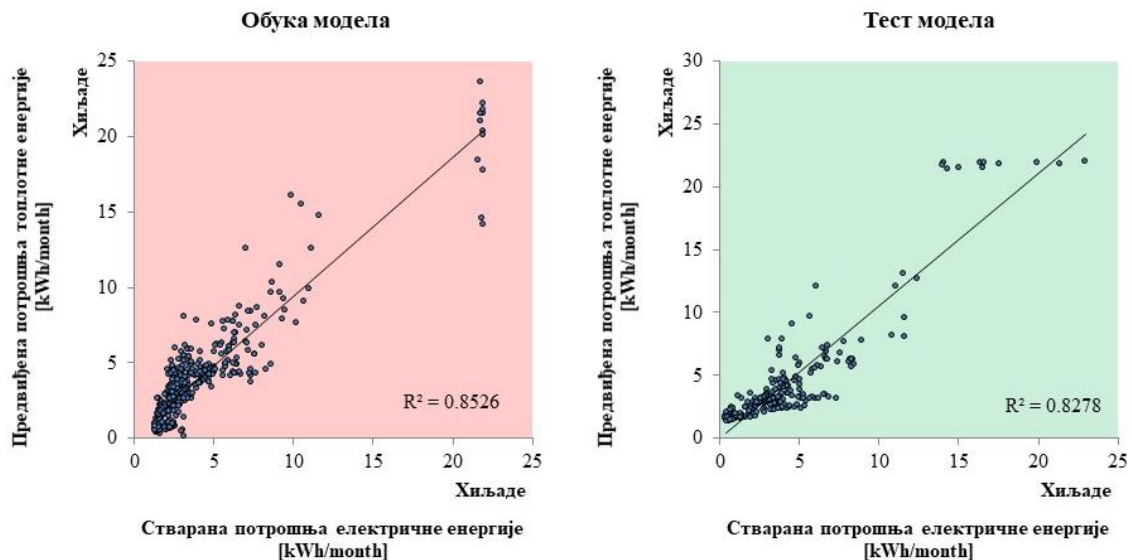
Оптимални параметри конфигуриране мреже добијени генетским алгоритмом су: број неурона у скривеном слоју (29), тип активационе функције у слојевима (у скривеном слоју: *logsig*, у излазном слоју: *elliotsig*), алгоритам учења (*trainoss*⁸⁰), број епоха учења (1000), моментум (0,001). Шаблон оптимално конфигуриране вештачке неуронске мреже за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије у предшколским установама приказан је на слици 6.8.

⁸⁰ *trainoss* - у научној литератури представља алгоритам учења заснован на методи сечице.



Слика 6.8. Вештачка неуронска мрежа конфигурирана за случај предвиђања потрошње електричне енергије у предшколским установама

Однос стварне потрошње електричне енергије и потрошње електричне енергије предвиђене методом вештачких неуронских мрежа, на скупу података за обуку и на скупу података за тест модела, приказан је на слици 6.9.



Слика 6.9. Поређење стварних и потрошњи електричне енергије предвиђених методом вештачких неуронских мрежа

Коефицијент детерминације модела вештачке неуронске мреже на скупу података за обуку је 0,85 а на скупу података за тест 0,83. Прецизности ANN модела у различитим категоријама потрошње енергије, изражени средњом апсолутном процентном грешком, приказани су у табели 6.13.

Табела 6.13. Особине ANN предиктивног модела за различите распоне потрошњи електричне енергије

Потрошња електричне енергије [MWh/month]	< 5	5 – 15	> 15
Мера прецизности	<i>MAPE</i>		
Скуп података			
Обука	66,3%	22,7%	12,1%
Тест	62,4%	29,2%	22,2%

Вештачка неуронска мрежа је на скупу података за обуку модела резултовала са вредношћу MAPE од 57,9%, а на скупу података за тест модела са 53,4%. У области малих потрошњи електричне енергије ANN је показао најмању прецизност у погледу вредности MAPE – 66,3% на скупу података за обуку и 62,4% на скупу података за тест. Грешке модела у категорији средњих и малих потрошњи су биле за приближно трећину мање него у категорији великих потрошњи – 22,7% и 29,2% у категорији средњих, и 12,1% и 22,2% у категорији малих потрошњи.

6.3. Предвиђање и праћење потрошње воде

За потребе предвиђања потрошње воде у јавним зградама анализирани су услови месечне потрошње у 13 зграда предшколских установа. Подаци о потрошњи воде и детаљи који се тичу зграда и активности унутар зграда су прибављани за период од 3 године. Период посматрања је био условљен доступношћу дневника присуства. Како је број присутних један од најутицајнијих параметара потрошње воде, анализирани период потрошње је био предодређен периодом за који је било могуће прибавити податке о броју месечних посета које су остварене у сваком од вртића.

Статистичке карактеристике оригиналног и скупа података за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње воде у предшколским установама су приказане у табели 6.14. Табела садржи само оне улазне податке који су у даљем делу текста означени као утицајни у процесу формирања неког од четири предиктивна модела.

Табела 6.14. Статистичке карактеристике скупа за обуку и тестирање модела за предвиђање потрошње воде у анализираним зградама предшколских установа

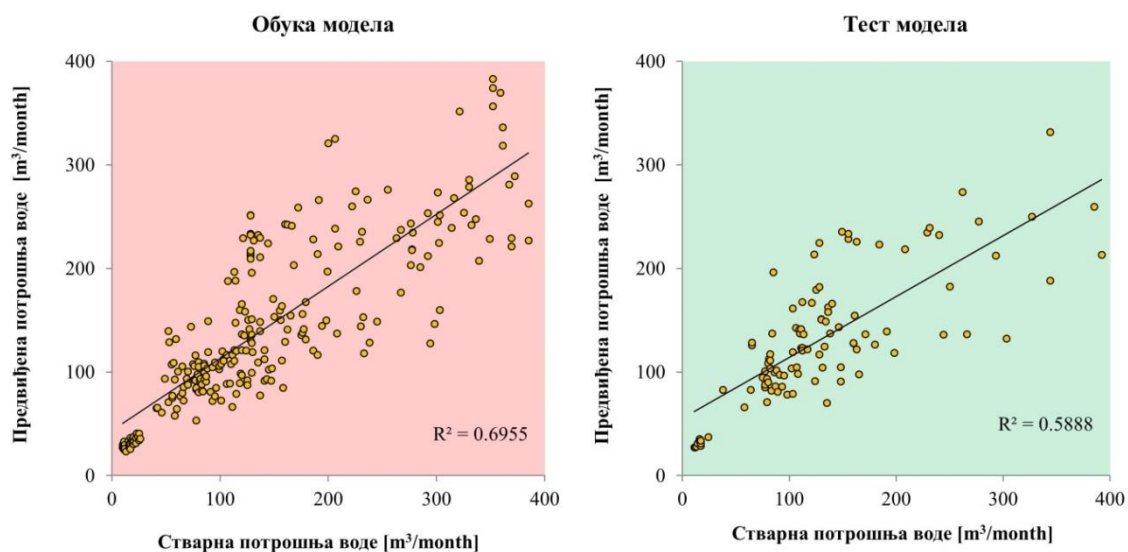
Променљиве	Јединица	Укупно података у скупу (N=346)	Укупно података у подскупу за обуку модела (N=242)	Укупно података у подскупу за тест модела (N=104)	p-вредност
MWC	[m ³]	139,66±93,20	142,95±97,81	132±81,4	0,61
NMV	[-]	705±569,20	726,71±590,47	654,59±515,53	0,46
TP	[-]	3689±2220,93	3777±2372	3483,4±1813,94	0,65
K	[-][%]	тип 1: 40 (11,6%)	тип 1: 32 (13,2%)	тип 1: 8 (7,7%)	0,20
MKWF	[l/min]	19,72±8,68	19,79±8,84	19,56±8,34	0,73
MTWF	[l/min]	14,34±3,83	14,31±4,01	14,4±3,39	0,81
NTF	[-]	14,82±9,21	15±9,50	14,35±8,52	0,67
NT	[-]	7,92±5,65	8,19±5,89	7,29±5,02	0,27
NBF	[-]	19,48±15,56	20,09±16,3	18,05±13,63	0,29
LWPW	[-]	136,88±185,99	146,62±194,16	114,22±164,07	0,23

6.3.1. Проста линеарна регресија

Методом прости линеарне регресије дефинисана је зависност између месечне потрошње воде и броја укупно остварених месечних посета у зградама предшколских установа. На овај начин, SLR метода на основу независне променљиве која је у јакој корелацијом са зависно променљивом омогућава праћење и предвиђање потрошње воде у зградама према формули:

$$MWC = 0,0344 \cdot TP + 12,084 \quad (6.5)$$

Однос стварне и предвиђене месечне потрошње воде добијене овом методом је приказан на слици 6.10.



Слика 6.10. Поређење стварне и потрошње воде предвиђене методом вештачких неуронских мрежа

Модел прости линеарне регресије је резултовао коефицијентом детерминације (R^2) од 0,7 на скупу података за обуку модела и 0,59 на скупу за тестирање. Остварена вредност MAPE на скупу за обуку је 40% а на тесту 35%. Прецизности SLR модела у различитим категоријама потрошње енергије, ниским ($< 50 \text{ m}^3/\text{month}$), средњим ($50 - 200 \text{ m}^3/\text{month}$) и високим потрошњама ($> 200 \text{ m}^3/\text{month}$) су приказани у табели 6.15. Прецизност модела је изражена средњом апсолутном процентном грешком.

Табела 6.15. Особине SLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа

Потрошња воде [m ³ /month]	< 50	50 – 200	> 200
Мера прецизности	<i>MAPE</i>		
Скуп података			
Обука	98%	32%	23%
Тест	106%	28%	24%

SLR модел у смислу MAPE вредности показује пораст прецизности са порастом категорије потрошње. Највишу вредност MAPE модел је показао за област малих потрошњи, 98% на скупу података за обуку и 106% на скупу података за тест. Насупрот томе, у областима средњих и високих потрошњи воде модел је показао незанемарљиво већу прецизност тј. мање вредности MAPE – 32% и 23% на обуци и 28% и 24% на тесту, респективно.

6.3.2. Вишеструка линеарна регресија

За потребе формирања модела вишеструке линеарне регресије прибављени су подаци о 22 променљиве које би могле да имају утицај на потрошњу воде. Међу потенцијалним независним се налази 21 променљива:

- Деталји о месечној посећености (5):
 - 1) Остварени број месечних посета вртићу (корисници услуге) (KMV),
 - 2) Остварени број месечних посета јаслицама (корисници услуге) (NMV),
 - 3) Остварени број месечних посета запослених (AMV),
 - 4) Укупан број остварених месечних посета (корисници простора) (TP),
 - 5) Постојање предшколске групе (PPG);

- Деталји о водоводним инсталацијама (6):
 - 1) Укупан број тоалета (NT),
 - 2) Укупан број водокотлића (NTF),
 - 3) Укупан број славина са дворучним батеријама (NBF),
 - 4) Укупан број једноручних славина са мешачком главом (NCF),
 - 5) Укупан број славина (TNF),
 - 6) Недељни број прања веш машином (LWPW);

- Деталји о физичким карактеристикама зграде (4):
 - 1) Корисна површина пода (UFA),
 - 2) Година изградње (BY),
 - 3) Кухиња (не/да) (K),
 - 4) Вешерај (не/да) (LR);

- Климатски подаци (4):
 - 1) Сума средњих дневних температура у току месеца (T_m),
 - 2) Сума максималних дневних температура у току месеца (T_{max}),
 - 3) Сума минималних дневних температура у току месеца (T_{min}),
 - 4) Просечна релативна влажност у току месеца (AMAH);

- Подаци прикупљени интервјуима и мерењима у пратњи особља вртића (2):
 - 1) Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи (MKWF),
 - 2) Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима (MTWF).

Линеарна зависност међу улазним променљивим и потрошњом воде одређена је Спримановим коефицијентом корелације. Резултати Сприманове корелације приказани су у корелационој матрици у табели 6.16.

Табела 6.16. Корелациона матрица потенцијалних променљивих које могу имати утицај на исход предвиђања потрошње воде MLR моделом

	MWC	KMV	NMV	AMV	TP	BFA	BY	K	LR	T _m	T _{max}	T _{min}	AMAH	MKWF	MTWF	NT	NTF	NBF	NCF	TNF	LWPW	PPG
MWC	1,00	0,73	0,87	0,86	0,84	0,8	-0,41	0,51	0,02	-0,02	-0,03	0,00	0,00	0,39	0,47	0,88	0,88	0,77	0,41	0,86	0,63	0,21
KMV	0,73	1,00	0,71	0,85	0,96	0,8	-0,37	0,34	-0,28	-0,11	-0,11	-0,52	0,06	0,27	0,21	0,74	0,76	0,71	0,29	0,72	0,37	0,18
NMV	0,87	0,71	1,00	0,83	0,84	0,84	-0,29	0,41	-0,01	0,08	0,08	0,09	-0,09	0,2	0,28	0,84	0,84	0,81	0,28	0,79	0,62	0,04
AMV	0,86	0,85	0,83	1,00	0,94	0,88	-0,27	0,43	-0,03	-0,1	-0,11	-0,07	0,06	0,29	0,33	0,82	0,82	0,86	0,20	0,41	0,64	0,26
TP	0,84	0,96	0,84	0,94	1,00	0,87	-0,33	0,39	-0,18	-0,06	-0,06	-0,01	0,02	0,26	0,24	0,81	0,83	0,81	0,27	0,79	0,51	0,20
UFA	0,80	0,80	0,84	0,88	0,87	1,00	-0,37	0,35	-0,15	0,03	0,03	0,04	-0,02	-0,29	0,27	0,85	0,87	0,87	0,23	0,86	0,62	0,20
BY	-0,41	-0,37	-0,29	-0,27	-0,33	-0,37	1,00	-0,03	0,22	0,59	0,06	0,05	-0,03	-0,44	-0,29	-0,59	-0,58	0,03	-0,91	-0,55	0,03	-0,13
K	0,51	0,34	0,41	0,43	0,39	0,35	-0,03	1,00	-0,15	0,05	0,04	0,05	-0,02	0,44	0,56	0,42	0,41	0,49	0,03	0,34	0,5	-0,23
LR	0,02	-0,28	-0,01	-0,03	-0,18	-0,15	0,22	-0,15	1,00	-0,03	-0,03	-0,04	0,02	0,29	0,3	-0,16	-0,23	0,08	-0,23	-0,15	-0,49	0,31
T _m	-0,02	-0,11	0,08	-0,10	-0,06	0,03	0,59	0,05	-0,03	1,00	0,99	0,95	-0,80	-0,04	0,01	-0,01	-0,05	-0,27	-0,07	0,02	0,07	-0,06
T _{max}	-0,03	-0,11	0,08	-0,11	-0,06	0,03	0,06	0,04	-0,03	0,99	1,00	0,94	-0,80	-0,04	0,01	-0,01	-0,01	0,02	-0,06	0,01	0,06	-0,06
T _{min}	0,00	-0,52	0,09	-0,07	-0,01	0,04	0,05	0,05	-0,04	0,95	0,94	1,00	-0,78	-0,42	0,01	0,00	0,00	0,03	-0,06	0,03	0,06	-0,04
AMAH	0,00	0,06	-0,09	0,06	0,02	-0,02	-0,03	-0,02	0,02	-0,80	-0,80	-0,78	1,00	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,03	-0,16	-0,03	0,03
MKWF	0,39	0,27	0,20	0,29	0,26	-0,20	-0,44	0,44	0,29	-0,04	-0,04	-0,42	0,02	1,00	0,65	0,36	0,30	0,24	0,35	0,26	0,36	0,27
MTWF	0,47	0,21	0,28	0,33	0,24	0,27	-0,29	0,56	0,30	0,01	0,01	0,01	0,00	0,65	1,00	0,36	0,36	0,23	0,27	0,37	0,48	0,17
NT	0,88	0,74	0,84	0,82	0,81	0,85	-0,59	0,42	-0,16	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,36	0,36	1,00	0,98	0,73	0,58	0,95	0,47	0,14
NTF	0,88	0,76	0,84	0,82	0,83	0,87	-0,58	0,41	-0,23	-0,05	-0,01	0,00	0,00	0,30	0,36	0,98	1,00	0,73	0,58	0,95	0,47	0,14
NBF	0,77	0,71	0,81	0,86	0,81	0,87	-0,00	0,49	0,08	-0,27	0,02	0,03	-0,02	0,24	0,23	0,73	0,73	1,00	0,63	0,69	0,76	0,17
NCF	0,41	0,29	0,28	0,20	0,27	0,23	-0,91	0,03	-0,23	-0,07	-0,06	-0,06	0,03	0,35	0,27	0,58	0,58	0,63	1,00	0,55	-0,11	0,09
TNF	0,86	0,72	0,79	0,41	0,79	0,86	-0,55	0,34	-0,15	0,02	0,01	0,03	-0,16	0,26	0,37	0,95	0,95	0,69	0,55	1,00	0,49	0,33
LWPW	0,63	0,37	0,62	0,64	0,51	0,62	0,03	0,50	-0,49	0,07	0,06	0,06	-0,03	0,36	0,48	0,47	0,47	0,76	-0,11	0,49	1,00	0,30
PPG	0,21	0,18	0,04	0,26	0,20	0,20	-0,13	-0,23	0,31	-0,06	-0,06	-0,04	0,03	0,27	0,17	0,14	0,14	0,17	0,09	0,33	0,30	1,00

На основу вредности коефицијената у матрици, за формирање MLR модела, као потенцијално независне, одабране су променљиве чија је апсолутна вредност коефицијента корелације са зависно променљивом већа од 0,2, а са другим потенцијално независним мања од коефицијента корелације са зависном променљивом, или је у рангу слабе корелације.

Према томе, одабрано је 5 променљивих:

- 1) Остварени број месечних посета јаслицама (корисници услуге) (*NMV*),
- 2) Укупан број остварених месечних посета (корисници простора) (*TP*),
- 3) Кухиња (не/да) (*K*),
- 4) Укупан број водокотлића (*NTF*),
- 5) Максималан проток воде на славинама у тоалетима (*MTWF*).

Након одабира потенцијално независних одређен је фактор инфлације варијанси како би се одабрани скуп испитао на мултиколинеарност. За све променљиве скупа, *VIF* је нижи од 6. На основу тога се може закључити да међу одабраним променљивим нема мултиколинеарности, те да се променљиве могу сматрати независним. Табела 6.17 приказује статистичке детаље добијеног MLR модела.

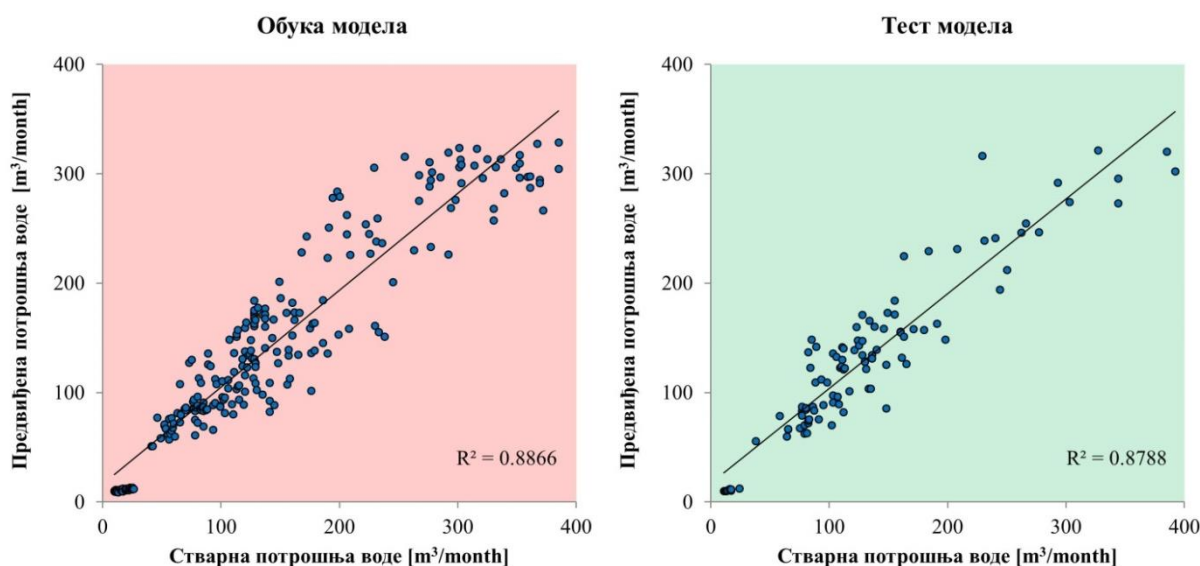
Табела 6.17. Дескриптивна статистика MLR модела

Улазни параметри	Јединица	Коефицијенти		Стандардна грешка	<i>t</i>	<i>p</i> -вредност	<i>VIF</i>
Intercept	[-]	β_0	5,002	174,04	0,73	0,00	-
<i>NMV</i>	[-]	β_1	0,002	0,17	4,17	0,00	4,9
<i>TP</i>	[-]	β_2	0,007	526,10	6,07	0,00	5,2
<i>K</i>	[-]	β_3	6,000	30,31	14,48	0,00	1,3
<i>NTF</i>	[-]	β_4	0,370	8,59	10,46	0,00	3,9
<i>MTWF</i>	[l/min]	β_5	0,209	0,33	3,17	0,00	1,1

На основу наведеног, модел вишеструке линеарне регресије који описује потрошње воде у зградама предшколских установа може бити описан формулом:

$$MWC = 5,002 + 0,002 \cdot NMV + 0,007 \cdot TP + 6 \cdot K + 0,37 \cdot NTF + 0,209 \cdot MTWF \quad (6.6)$$

Однос стварне и предвиђене потрошње топлотне енергије добијене MLR методом је приказан на слици 6.11.



Слика 6.11. Поређење стварне потрошње и потрошње воде предвиђене методом вишеструке линеарне регресије

Коефицијент детерминације MLR модела на скупу података за обуку је био 0,89 а вредност MAPE 19,8%. На скупу података за тест модела коефицијент детерминације и вредност MAPE су били приближни вредностима оствареним на скупу података за обуку, 0,88 и 17,7%, респективно. Више детаља о прецизности модела у различитим категоријама потрошње воде приказано је у табели 6.18.

Табела 6.18. Особине MLR предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа

Потрошња воде [m³/month]	< 50	50 – 200	> 200
Мера прецизности Скуп података	MAPE		
Обука	29,9%	19,8%	13,3%
Тест	29,7%	17,1%	12,3%

Разлике средње апсолутне процентне грешке на скупу података за обуку и скупу података за тест модела, у свим категоријама потрошње воде, је била мања од 3%. У категорији малих потрошња вредност MAPE има скоро исту вредност на оба скупа (30%). Са порастом категорије потрошње воде вредност MAPE модела опада, па је тако у категорији средње потрошње вредност MAPE износила 19,8% на обуци и 17,1% на тесту, а у категорији великих потрошњи била је 13,3% и 12,3%, на обуци и тесту, респективно.

6.3.3. Стабло одлучивања

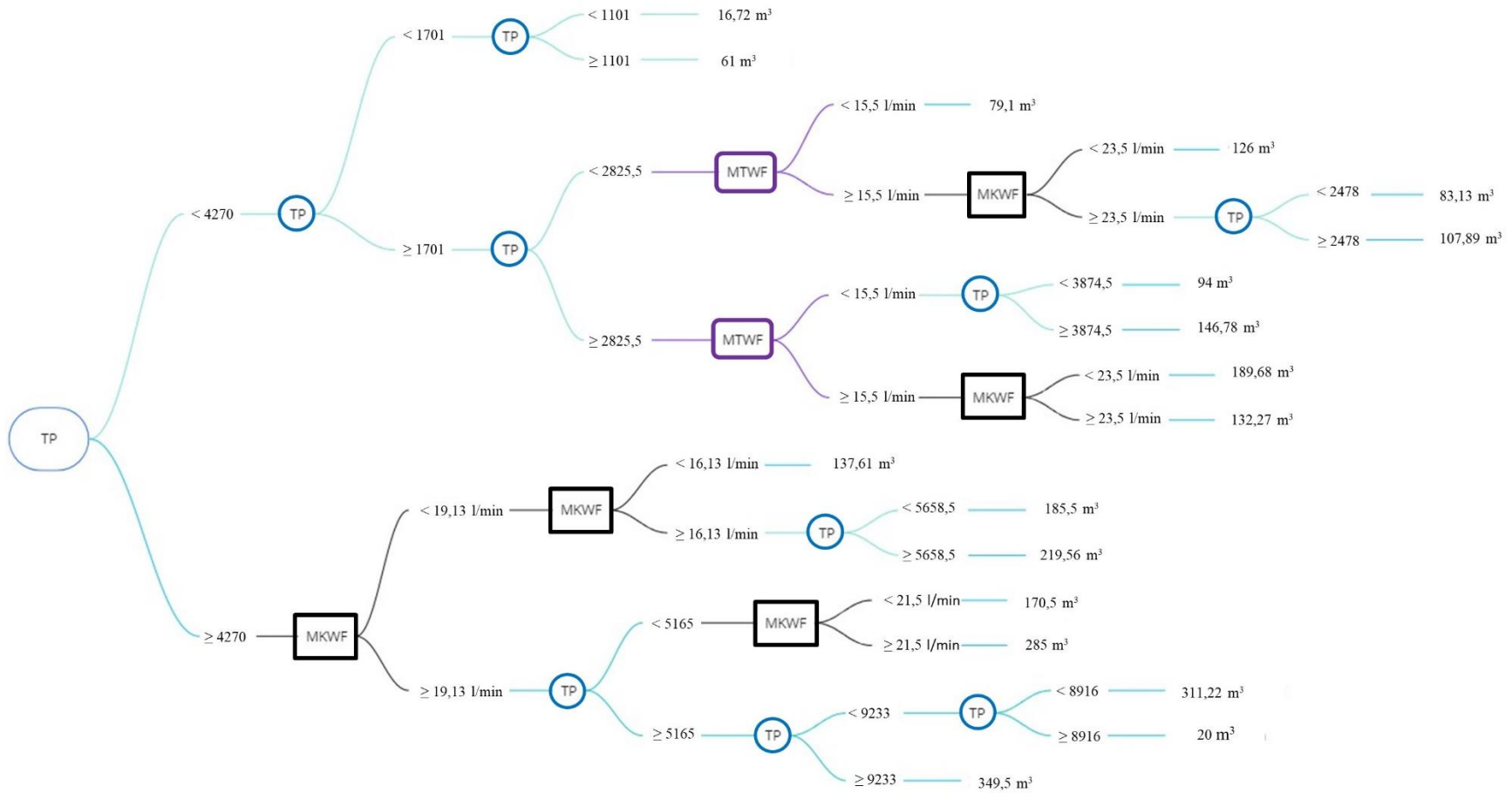
За потребе формирања модела стабла одлучивања примењен је алгоритам REPTree у софтверском пакету WEKA. За потребе одабира променљивих које утичу на прецизност предвиђања модела примењена је метода обвојнице. Променљиве које утичу на исход предвиђања потрошње воде, одабране на овај начин, су: 1) Укупан број остварених месечних посета (корисници простора), 2) Максималан проток воде на славинама у

тоалетима (MTWF) и 3) Максималан проток воде на славинама у приручној кухињи (MKWF). Правила одлучивања заснована на добијеном стаблу су приказана у табели 6.19.

Табела 6.19. Правила одлучивања за потребе предвиђања месечне потрошње воде у зградама предшколских установа

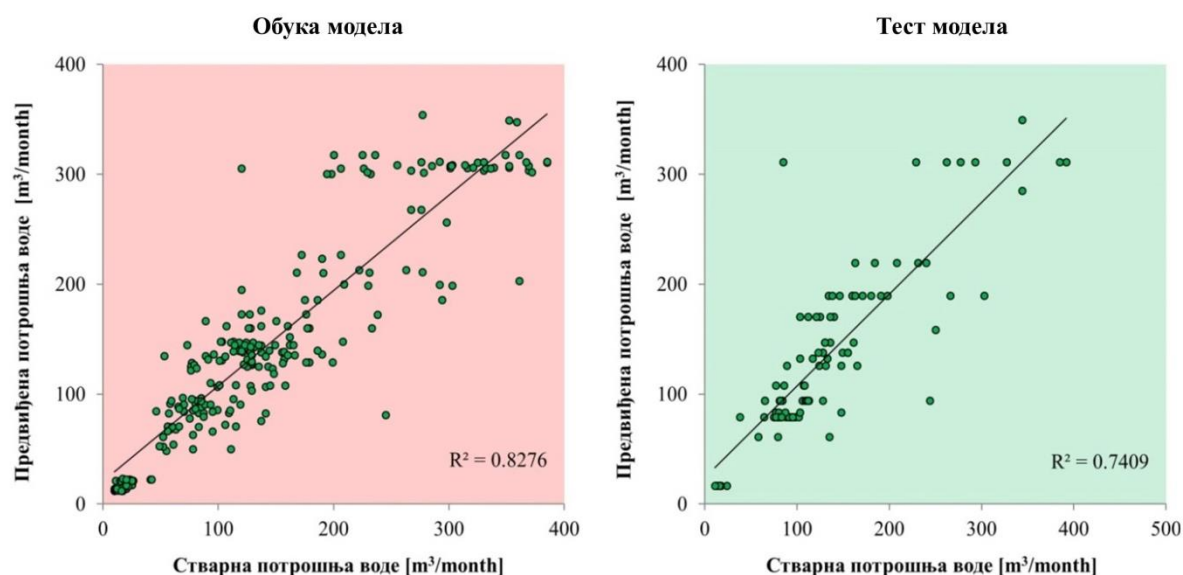
Правила одлучивања	Потрошња воде [m ³ /month]
TP < 1101	16,72
1101 < TP < 1701	61
1701 < TP < 2825,5 и MTWF < 15,5	79,1
1701 < TP < 2825,5 и MTWF ≥ 15,5 и 15,5 < MKWF < 23,5	126
1071 < TP < 2478 и MTWF ≥ 15,5 и MKWF ≥ 23,5	83,13
2478 ≤ TP < 2825,5 и MTWF ≥ 15,5 и MKWF ≥ 23,5	107,89
2825,5 ≤ TP < 3874,5 и MTWF < 15,5	94
3874,5 ≤ TP < 4270 и MTWF < 15,5	146,78
2825,5 ≤ TP < 4270 и MTWF ≥ 15,5 и MKWF < 23,5	189,68
2825,5 ≤ TP < 4270 и MTWF ≥ 15,5 и MKWF ≥ 23,5	132,27
TP ≥ 4270 и MKWF < 16,13	137,61
4270 ≤ TP < 5658,5 и 16,13 ≤ MKWF < 19,13	185,5
TP ≥ 5658,5 и 16,13 ≤ MKWF < 19,13	219,56
4270 ≤ TP < 5165 и 19,13 ≤ MKWF < 21,5	170,5
4270 ≤ TP < 5165 и MKWF ≥ 21,5	285
5165 ≤ TP < 8916 и MKWF ≥ 19,3	311,22
8916 ≤ TP < 9233 и MKWF ≥ 19,3	203
TP ≥ 9233 и MKWF ≥ 19,3	349,5

Стабло одлучивања формирано на овај начин има облик приказан на слици 6.12.



Слика 6.12. Стабло одлучивања потрошње воде у јавним предшколским установама

Однос стварне и предвиђене потрошње воде добијене DT методом је приказан на слици 6.13.



Слика 6.13. Поређење стварних потрошњи и потрошње воде предвиђене методом стабла одлучивања

Коефицијенти детерминације методе стабла одлучивања на скупу података за обуку је 0,89 а на скупу података за тест 0,88. Вредности MAPE модела на скупу података за обуку и тест су приближне, 22,3% и 21,6%, респективно. Више детаља о прецизности DT модела у различитим категоријама потрошње воде приказано је у табели 6.20.

Табела 6.20. Особине DT предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа

Потрошња воде [m³/month]	< 50	50 – 200	> 200
Мера прецизности	<i>MAPE</i>		
Скуп података			
Обука	23,8%	24,1%	16,8%
Тест	26,5%	21,2%	20%

Најмање грешке у предвиђању месечне потрошње воде у зградама предшколских установа DT модел је показао у категорији великих потрошњи (16,8% на обуци и 20% на тесту). Прецизност модела у категорији малих и средњих потрошњи је била релативно слична на скупу података за обуку – 23,8% и 24,1%, респективно. На скупу података за тест, разлика MAPE модела у области малих и средњих потрошњи је била приближно 5% (26,5% и 21,2%, респективно).

6.3.4. Вештачке неуронске мреже

Променљиве које утичу на исход предвиђања ANN модела а тичу се месечне потрошње воде у зградама предшколских установа, одређене су применом генетског алгоритма.

Променљиве које могу имати утицај на исход предвиђања, одабране на тај начин су:

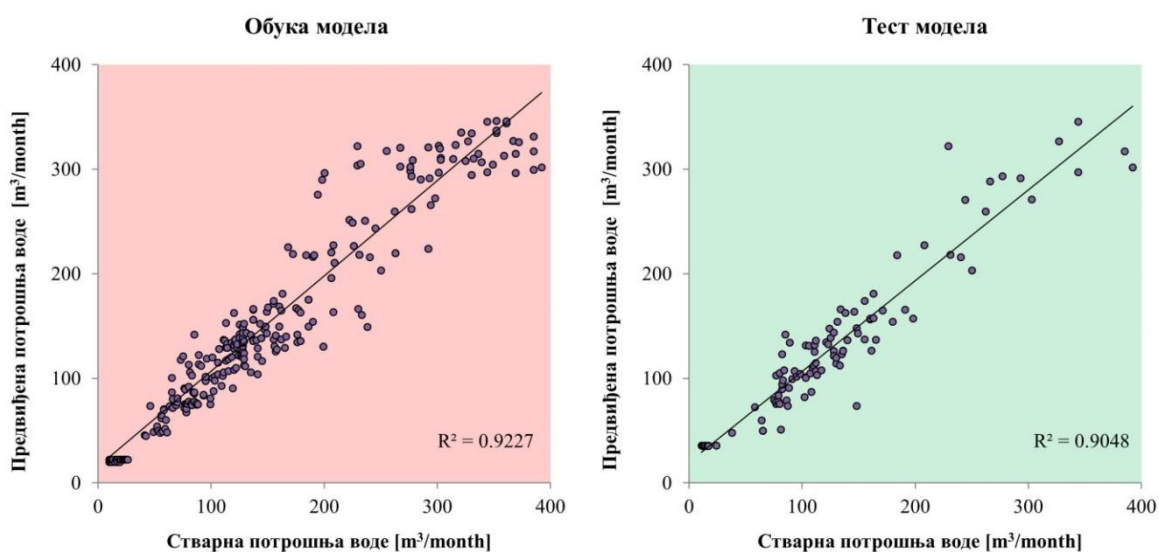
- 1) Остварени број месечних посета јаслицама (корисници услуге) (NMV),
- 2) Укупан број остварених месечних посета (корисници простора) (TP),
- 3) Максималан проток воде на славинама у кухињи (МКWF),
- 4) Максималан проток воде на славинама у тоалетима (MTWF),
- 5) Укупан број тоалета (NT),
- 6) Укупан број славина са дворучним батеријама (NBF) и
- 7) Недељни број прања веш машином (LWPW).

Оптимални параметри конфигуриране мреже одређени генетским алгоритмом су: број неурона у скривеном слоју (13), тип активационе функције у слојевима (у скривеном слоју: *logsig*, у излазном слоју: *elliotsig*), алгоритам учења (*trainlm*), број епоха учења (1000), моментум (0,001). Шаблон оптимално конфигуриране вештачке неуронске мреже за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије у предшколским установама приказан је на слици 6.14.



Слика 6.14. Вештачка неуронска мрежа конфигурирана за случај предвиђања потрошње воде у предшколским установама

Однос стварне и предвиђене потрошње воде добијене ANN методом је приказан на слици 6.15.



Слика 6.15. Поређење стварних потрошњи и потрошње воде предвиђене методом стабла одлучивања

У случају предвиђања потрошње воде ANN модел је показао највећу прецизност у поређењу са осталим моделима. Коефицијент детерминације модела на скупу података за обуку је био 0,92 а на скупу података за тест 0,9. Вредност MAPE на скупу података за тест је била за око 10% мања него на скупу података за обуку (15,8% и 25,5%, респективно). Више детаља о прецизности DT модела у различитим категоријама потрошње воде, приказано је у табели 6.21.

Табела 6.21. Особине ANN предиктивног модела за различите распоне потрошњи воде у зградама предшколских установа

Потрошња воде [m ³ /month]	< 50	50 – 200	> 200
Мера прецизности Скуп података	<i>MAPE</i>		
Обука	36,6%	14,4%	10,2%
Тест	126,7%	14,1%	11%

У области малих потрошњи ANN модел је показао велики раскорак у прецизности на скупу података за обуку и на скупу података за тест, резултујући вредностима MAPE од 36,6% и 126,7%, респективно. У областима средњих и великих потрошњи воде разлика је била релативно незнатна и то у области средње потрошње приближно 14% на оба скупа података, а у области велике потрошње воде 10,2% на скупу података за обуку и 11% на скупу података за тест.

7. Закључак

У дисертацији је развијена методологија за успостављање система за праћење и предвиђање месечне потрошње енергије и воде у јавним зградама. Циљ израде дисертације је формирање релативно прецизних предиктивних модела за једноставне и брзе процене у области газдовања енергијом. Научни допринос дисертације се огледа у чињеници да је приказана методологија развијена на до сада неанализираној групи јавних зграда у области предвиђања потрошње енергије, што би требало да допринесе дубљем разумевању узрока њене потрошње. Практични допринос дисертације се огледа у чињеници да развијена методологија омогућава лакшу контролу потрошње енергије и воде у јавним зградама, правовремено откривање хаварија, лакше планирање буџета, брзе процене уштеда енергије након реконструкције, брзе процене потрошње воде након промене организације активности у згради и сл.

Методологија је развијена у пет корака: 1) прикупљање и обрада података, 2) припрема података за примену у различитим моделима за предвиђање, 3) одабир различитих линеарних и нелинеарних статистичких метода за потребе предвиђања енергије и воде у јавним зградама, 4) одабир параметара који утичу на исход предвиђања и 5) могућности примене модела у различитим областима потрошњи.

За потребе анализе могућности различитих предиктивних модела примењене су две линеарне методе, проста (SLR) и вишеструка линеарна регресија (MLR) и две нелинеарне, стабло одлучивања (DT) и вештачке неуронске мреже (ANN). Разлози за одабир наведених метода се могу сврстати у неколико категорија: 1) различити нивои једноставности примене методе, 2) различит број параметара потребан за формирање модела, 3) различите предиктивне прецизности модела и 4) могућност примене модела за потребе предвиђања потрошњи енергије пре и после реконструкције зграде.

Процес прибављања података који могу да допринесу формирању модела је подељен у три фазе: 1) прикупљање података о физичким карактеристикама јавних зграда укључених у анализу, 2) прибављање података о посећености зграда и прикупљање података о потрошњи енергената, воде и података о клими за анализирани период, 3) анкетирање и разговор са запосленима.

Филтер методом надгледаног приступа, за сваку предиктивну методу, из скупа прикупљених података су одабране променљиве које имају утицај на исход предвиђања. За потребе одабира параметара за формирање SLR и MLR модела примењена је Спирманова корелација. У случају MLR методе, одабрани параметри су накнадно проверени на мултиклинеарност одређивањем фактора инфлације варијанси. За потребе формирања DT модела примењена је метода обвојнице, а за потребе ANN модела интристичка метода одабира параметара применом генетског алгорита.

Методологија развијена у дисертацији је примењена на студији случаја јавних предшколских установа у граду Крагујевцу, тј. на 14 зграда за случај формирања предиктивног модела потрошње електричне енергије, 13 зграда за потребе формирања предиктивног модела месечне потрошње воде, и 11 зграда за потребе формирања предиктивног модела потрошње топлотне енергије. Из укупног узорка зграда, у случају формирања предиктивних модела месечне потрошње топлотне енергије, искључене су зграде за које није било могуће утврдити тачну потрошњу топлотне енергије на месечном нивоу (зграде које се греју на лож уље и зграде прикључене на систем градског

даљинског грејања које немају могућност индивидуалног читавања потрошње). У случају формирања предиктивних модела месечне потрошње воде, из укупно посматраног узорка зграда, искључена је зграда која је имала незанемарљиве промене у потрошњи изазване активностима које нису биле у блиској вези са наменом самог објекта (услуга коришћења веш машина за потребе других зграда чију учесталост није било могуће квантификовати, потребе годишњег одржавања простора и сл.).

Резултати SLR модела су одређени једним улазом. За потребе предвиђања потрошње топлотне енергије то је остварени број грејних степен дана, а за потребе предвиђања потрошње воде: Укупан број остварених месечних посета (корисници простора). Месечну потрошњу електричне енергије за посматрани случај није било могуће предвидети SLR методом, јер прецизне исходе предвиђања потрошње електричне енергије није могуће остварити применом једне променљиве.

Предвиђања месечне потроше топлотне енергије MLR методом у јавним зградама одређују параметри: 1) број грејних степен дана, 2) број зграда, 3) величина зграде (мања или већа од 500 m²), 4) производ нето површине спољашњих зидова и њиховог коефицијента пролаза топлоте, 5) производ укупне површине грађевинске столарије и просечне вредности коефицијента пролаза топлоте столарије, и 6) површина прозора која се користи за проветравање простора.

Предвиђања месечне потрошње воде MLR методом одређује 5 променљивих: 1) број остварених месечних посета у јаслицама, 2) укупан број остварених месечних посета (корисници простора), 3) кухиња (не/да), 4) укупан број водокотлића, и 5) максималан проток воде на славинама у тоалетима.

Методом обвојнице примењеном на стабло одлучивања утврђено је да на предвиђања месечне потрошње топлотне енергије утичу 4 променљиве: 1) број грејних степен дана, 2) површина зграде, 3) тип градње и 4) површина грађевинске столарије, а на предвиђања месечне потрошње воде 3 променљиве: 1) укупан број остварених месечних посета (корисници простора), 2) максималан проток воде на славинама у тоалетима и 3) максималан проток воде на славинама у приручној кухињи.

Интристичком методом одабрани параметри који утичу на предвиђање месечне потрошње топлотне енергије ANN модела су: 1) број грејних степен дана, 2) средња вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњих зидова, 3) површина грађевинске столарије, 4) средња вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије и 5) тип крова.

На исход предвиђања месечне потрошње воде ANN модела утиче 7 променљивих: 1) број остварених месечних посета у јаслицама, 2) укупан број остварених месечних посета (корисници простора), 3) максималан проток воде на славинама у кухињи, 4) максималан проток воде на славинама у тоалетима, 5) укупан број тоалета, 6) укупан број славина са дворучним батеријама и 7) месечни број прања веш машином, а на исход предвиђања електричне енергије утиче 9 променљивих: 1) година изградње, 2) укупан број бројила, 3) површина грађевинске столарије, 4) нето површина спољашњих зидова, 5) кухиња (не/да), 6) укупна снага расвете, 7) укупна снага клима уређаја, 8) сума средњих дневних температура у току месеца, и 9) број дана са температуром изнад 22°C у току месеца.

Број дана са температуром изнад 22°C у току месеца, као фактор од утицаја, указује на чињеницу да на потрошњу електричне енергије у зградама, између осталог, утиче рад клима уређаја. Како се електрична енергија, као примарни извор топлотне енергије, не користи за потребе загревања простора у месецима грејне сезоне, утицај климатских услова на њену потрошњу се уочава у летњим месецима.

Прецизност предиктивних модела на целокупним скуповима података описана је коефицијентом детерминације (R^2) и средњом апсолутном квадратном грешком (MAPE).

Према вредностима коефицијента детерминације, модел вештачке неуронске мреже се показао као најпрецизнији за потребе предвиђања потрошње топлотне енергије и воде (0,92 и 0,90, респективно). Поред тога, овај модел је био једини који је за прикупљене податке о потрошњи електричне енергије успео да формира модел са релативно прихватљивим исходима предвиђања ($R^2=0,83$ и MAPE=53,4%).

У областима средњих (10 – 40 MWh/month) и високих потрошњи топлотне енергије (40 MWh/month) најбољу прецизност постижу ANN и MLR модели. У погледу вредности MAPE, прецизност модела расте са порастом потрошње енергије, при чему су прецизности MLR модела 21% (за област средњих потрошњи) и 11% (за област великих потрошњи). Прецизност ANN модела од малих (мањих од 10 MWh/month) ка великим потрошњама расте од 16% до 9% MAPE, респективно. MLR није погодна за предвиђања месечне потрошње топлотне енергије зграда у категорији малих потрошњи (мање од 10 MWh/month), јер на формирање вредности коефицијената регресионе једначине утиче дистрибуција вредности улазних података. Због тога, овај модел у области малих потрошњи топлотне енергије даје предикције са грешком од 70%. SLR модел, иако најмање прецизан, на дијаграмима указује на типове проблема повишене потрошње топлотне енергије, због чега је интуитиван и релативно лак за разумевање.

У области средњих (од 50 до 200 m³) и високих месечних потрошњи воде (веће од 200 m³) највећу прецизност су показали ANN (14,1% и 10,2% MAPE) и MLR модели (17,1% и 12,3% MAPE), а у области малих потрошњи DT (26,5% MAPE).

На одлуку о одабиру најпогодније методе за потребе предвиђања потрошње енергије и воде у јавним зградама, поред очекиване предиктивне прецизности, утичу и фактори као што су: 1) број параметара потребних за развијање модела, 2) интуитивност модела, 3) могућност примене модела за потребе предвиђања потрошње енергије након реконструкције зграде, и 4) сложеност примене модела.

За потребе предвиђања потрошње топлотне енергије у јавним зградама, иако релативно незадовољавајуће прецизности, SLR метода на релативно интуитиван начин описује тип проблема који могу бити узроци повишене потрошње енергије. Нпр., нагиб регресионе линије и тип регресионе функције указују на стање термичког омотача зграде и стање система за грејање. Шематски приказ DT модела је релативно интуитиван и погодан за тумачење од стране неексперата у области. Уколико је стабло развијено класификационом методом, не захтева познавање тачних вредности који се тичу детаља зграде, већ само категорије вредности. Међутим, DT, као и SLR, није погодна за процене потрошње енергије након реконструкције јер у себи не садржи параметре који се тичу детаља термичког омотача зграда.

У случају метода за предвиђање месечних потрошњи воде, коефицијент детерминације ANN модела је за 2% већи од коефицијента детерминације MLR модела, али MLR као излаз нуди формулу, а ANN „црну кутију“ коју није могуће тумачити.

Ограничење развијене методологије се огледа у чињеници да није било могуће применити све четири одабране методе за потребе предвиђања месечне потрошње електричне енергије анализираних зграда. Разлози за то су вишеструки. Прво, линеарне регресионе методе су се показале као неподесне за потребе предвиђања електричне енергије јер су континуиране променљиве показале занемарљиву линеарну корелацију са зависно променљивом. Друго, прецизност прибављених података о месечној потрошњи електричне енергије је упитна. Неизвесно је у којој мери се период читавања месечне потрошње електричне енергије поклапа са периодом прикупљања података, који је био ограничен на почетак и крај месеца. Исто тврђење се може изнети и за податке о потрошњи воде, али очигледно је да утицај некомпатибилности података о потрошњи струје има већи утицај на исход предвиђања које одређује.

Такође, тешко је предвидети и квантификовати понашање корисника која може да утичу на потрошњу енергије. Због тога, DT модел није дао задовољавајуће исходе предвиђања и није описан у раду, а прецизност ANN модела је само релативно задовољавајућа.

На основу наведеног се може закључити да је идеалан избор методе за предвиђање потрошње енергије и воде у зградама условљен могућностима (знања и доступности података) и циљевима (праћење или предвиђање потрошње након реконструкције) више него потребама за прецизношћу.

Релативно брз развој информационо-комуникационих технологија (5G интернет, сензори) наговештава будућност у којој ће доступност података и аутоматско читавање параметара омогућити развијање система за праћење потрошње енергије и воде у јавним зградама у реалном времену. Поред тога, прецизна мерења ће у таквим околностима омогућити прецизне предикције, поготову у области потрошње електричне енергије. Постојање одговарајуће методологије која омогућава предвиђања очекиваних вредности потрошњи може бити користан алат за израду платформи за правовремено реаговање у случају хаварија или неконтролисаних потрошњи, за процене очекиваних уштеда потрошњи након реконструкције, за боље разумевање „понашања“ зграда када је у питању оптерећење електродистрибутивног система и за контролисану потрошњу ресурса када је у питању пијаћа вода. Може се очекивати да овакви трендови и даљи развој система вештачке интелигенције допринесу успешнијем газдовању енергијом у јавним зградама.

Номенклатура

Списак коришћених скраћеница и страних речи

ANN	Вештачке неуронске мреже
DT	Стабло одлучивања
EAANN	Еволутивно склопљена вештачка неуронска мрежа
MAPE	Средња апсолутна процентна грешка
MLR	Вишеструка линеарна регресија
SLR	Проста линеарна регресија

Списак коришћених ознака

АМАН	Просечна релативна влажност у току месеца [%]
АМV	Остварени број месечних посета запослених [-]
BS	Величина зграде (0/1 – већа од 500 m ² /мања од 500m ²) [-]
BY	Година изградње [-]
CA	Површина плафона [m ²]
CR	Хладњача (не/да – 0/1) [-]
ЕЕС	Месечна потрошња електричне енергије [kWh/month]
EN	Јаслена група (не/да – 0/1) [-]
EWGS	Бруто површина спољашњих зидова [m ²]
EWNS	Нето површина спољашњих зидова [m ²]
EWNS·U	Производ EWNS и U-EWA [W/K]
FOC	Месечна потрошња лож уља [m ³]
FT	Тип грађевинске столарије (дрво/PVC/ALU/челик) [-]
GA	Генетски алгоритам
GC	Месечна потрошња гаса [Nm ³ /month]
GFA	Површина грађевинске столарије [m ²]
GFA/UFA	Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде [-]
GFA·U	Производ GFA и U-FA [W/K]
HDD	Број грејних степен дана [°C·day/month]
HEC	Месечна потрошња топлотне енергије [kWh/month]
HFA	Грејана површина пода [m ²]
HLU	Укупан број сати рада расвете у току месеца [h/month]
HS	Начин грејања (градско даљинско/гас/лож уље – 0/1/2) [-]
HV	Грејана запремина [m ³]
K	Кухиња (не/да – 0/1) [-]
KMV	Остварени број месечних посета вртићу (корисници услуге) [-]
LR	Вешерај (не/да – 0/1) [-]
LWPW	Недељни број прања веш машином [-]
M	Месец [-]
MKWF	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи [l/min]
MTWF	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима [l/min]
MWC	Месечна потрошња воде [m ³]
NB	Број зграда [-]
NBF	Укупан број славина са дворучним батеријама [-]
NC	Укупан број бројила [-]

NCF	Укупан број једноручних славина са мешачком главом [-]
NF	Спратност [-]
NMV	Остварени број месечних посета јаслицама (корисници услуге) [-]
NT	Укупан број тоалета [-]
NTF	Укупан број водокотлића [-]
OKWF	Проток воде на славинама у приручним кухињама погодан за обављање кухињских послова [l/min]
RHVAC	Укупна снага клима уређаја [kW]
PL	Одобрена снага бројила [kW]
PL150	Укупна снага расвете (150W) [kW]
PLSUM	Укупна снага расвете [kW]
PPG	Предшколска група (не/да – 0/1) [-]
PWB	Укупна снага бојлера за топлу воду [kW]
RT	Тип крова (раван/кос – 0/1) [-]
SWNV	Површина прозора која се користи за проветравање простора [m ²]
TB	Тип градње [-]
TEGS	Бруто површина термичког омотача зграде [m ²]
TENS	Нето површина термичког омотача зграде [m ²]
TNF	Укупан број славина [-]
TNWD	Укупан број радних дана [-]
TP	Укупан број остварених месечних посета (корисници простора) [-]
U-C	Средња вредност коефицијента пролаза топлоте плафона [W/m ² K]
U-EWA	Средња вредност коефицијента пролаза топлоте спољашњих зидова [W/m ² K]
UFA	Корисна површина пода [m ²]
U-FA	Средња вредност коефицијента пролаза топлоте грађевинске столарије [W/m ² K]
AR	Фактор облика [1/m]
T _m	Сума средњих дневних температура у току месеца [°C]
T _{max}	Сума максималних дневних температура у току месеца [°C]
T _m > 22°C	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 22°C [-]
T _m > 26°C	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 26°C [-]
T _m > 30°C	Број дана у месецу са средњом дневном температуром већом од 30°C [-]
T _{max} > 22°C	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 22°C [-]
T _{max} > 26°C	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 26°C [-]
T _{max} > 30°C	Број дана у месецу са максималним температурама већим од 30°C [-]
T _{min}	Сума минималних дневних температура у току месеца [°C]

Литература

- [1] “Final energy consumption by sector and fuel — European Environment Agency.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-4>. [Приступљено: 27.8.2019].
- [2] “Final energy consumption by sector and fuel in Europe — European Environment Agency.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-10/assessment>. [Приступљено: 02.10.2020].
- [3] “Energy statistics - an overview - Statistics Explained.” [Он-лајн]. Доступно на: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview&oldid=492784. [Приступљено: 01.10.2020].
- [4] “Energy balances - Eurostat.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>. [Приступљено: 02.10.2020].
- [5] IEA and UNEP, *2019 Global status report for buildings and construction: towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*, vol. 224. 2019.
- [6] M. Rousselot, “ODYSSEY. Energy efficiency trends in buildings”, 2018.
- [7] “Energy consumption by end-use | Energy.” [Он-лајн]. Доступно на: https://ec.europa.eu/energy/content/energy-consumption-end-use_en. [Приступљено: 06.10.2020].
- [8] S. Bećirović, M. Vasić, “Methodology and results of Serbian energy-efficiency refurbishment project”, *Energy and Buildings*, vol. 62, no. 2013, pp. 258–267, 2013.
- [9] D. Ürge-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, C. Barreneche, and K. Petrichenko, “Heating and cooling energy trends and drivers in buildings”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 85–98, 2015.
- [10] A. Kipping, E. Trømborg, “Modeling hourly consumption of electricity and district heat in non-residential buildings”, *Energy*, vol. 123, pp. 473–486, 2017.
- [11] Д. Гордић, В. Шуштершич, Д. Кончаловић, В. Вукашиновић, Д. Живковић, Н. Јуришевић, М. Јосијевић, А. Миловановић, З. Ковачевић, “Програм енергетске ефикасности града Крагујевца за период 2018-2020 година”, Крагујевац, 2018.
- [12] City of Ingolstadt, “Energiebericht 2017”, Ingolstadt, 2017.
- [13] Д. Тадић, М. Радуљ, М. Тешановић, М. Савић, С. Цукут, “Акциони план енергетске ефикасности (АПЕЕ) Града Бања Лука за период од 2016. до 2019. године”, Бања Лука, 2019.
- [14] Општина Охрид, “Програма за енергетска ефикасност на општина Охрид 2012-2014”, Охрид, 2012.
- [15] The World Bank, “Status of Energy Efficiency in the Western Balkans”, 2010.
- [16] Energy Charter Secretariat, “Energy efficiency in the public sector / Policies and programs in ECT Member Countries”, 2010.
- [17] М. Ну, “Assessment of effective energy retrofit strategies and related impact on indoor environmental quality: A case study of an elementary school in the state of Maryland”, *Journal of Green Building*, vol. 12, no. 2, pp. 38–56, 2017.

- [18] G. Dall’O, L. Sarto, “Potential and limits to improve energy efficiency in space heating in existing school buildings in northern Italy”, *Energy and Buildings*, vol. 67, no. 2013, pp. 298–308, 2013.
- [19] A. Dimoudi, P. Kostarela, “Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C’ climatic zone of Greece”, *Renewable Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 289–296, 2009.
- [20] D. Grossmann, R. Galvin, J. Weiss, R. Madlener, B. Hirschl, “A methodology for estimating rebound effects in non-residential public service buildings: Case study of four buildings in Germany”, *Energy and Buildings*, vol. 111, pp. 455–467, 2016.
- [21] A. Życzyńska, Z. Suchorab, J. Kočí, R. Černý, “Energy Effects of Retrofitting the Educational Facilities Located in South-Eastern Poland Anna”, *Energies*, vol. 13, no. 10, pp. 1–16, 2020.
- [22] P. M. Congedo, D. D’Agostino, C. Baglivo, G. Tornese, and I. Zacà, “Efficient solutions and cost-optimal analysis for existing school buildings”, *Energies*, vol. 9, no. 10, pp. 1–24, 2016.
- [23] I. Zacà, G. Tornese, C. Baglivo, P. M. Congedo, D. D’Agostino, “Data of cost-optimal solutions and retrofit design methods for school renovation in a warm climate”, *Data in Brief*, vol. 9, pp. 846–849, 2016.
- [24] S. Kempe, C. Höfle, J. Görres, H. Erhorn-Kluttig, H. Erhorn, H. M. Beckert, “School of the Future: Deep renovation of the Solitude-Gymnasium in Stuttgart”, *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 3312–3317, 2015.
- [25] O. Morck, K. E. Thomsen, B. E. Jorgensen, “School of the future: Deep energy renovation of the Hedegaards School in Denmark”, *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 3324–3329, 2015.
- [26] J. Davis, M. Miller, B. Wendy, G. Megan, “The impact and potential of water education in early childhood care and education settings: a report of the Rous water early childhood water aware centre program”, Brisbane, 2008.
- [27] N. Jurišević, D. Gordić, N. Lukić, and M. Josijević, “Benchmarking heat consumption in educational buildings in the city of Kragujevac (Serbia)”, *Energy Efficiency*, vol. 11, no. 4, pp. 1023–1039, 2018.
- [28] B. Ivanov, “Collecting data from energy certification to monitor performance indicators for new and existing buildings (DATAMINE) - Monitoring of energy performance of municipal buildings in Bulgaria”, Sofia, Bulgaria, 2007.
- [29] The European Parliament and the Council of the European Union, “Directive 2006/32/ec of the European Parliament and of the Council on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC”, *Official Journal of the European Union*, pp. 1–22, 2006.
- [30] Energy Community, “Decision of the ministerial council of the energy community D/2009/05/MC-EnC,” Zagreb, Croatia, 2009.
- [31] The European Parliament and the Council of the European Union, “Directive 2002/91/ec of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings”, *Official Journal of the European Communities*, pp. 1–7, 2002.
- [32] Влада Републике Србије, “Други акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије за период од 2013. до 2015. године”, *Службени гласник Републике Србије бр. 98/2013*, 2015.
- [33] Влада Републике Србије, “Трећи акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије за период до 2018. године”, *Службени гласник Републике Србије бр. 1/17*, 2017.
- [34] C40 Cities Climate Leadership Group and ICLEI Local Governments Institute, “Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions (GPC)”, 2012.

- [35] A. Capozzoli, D. Grassi, F. Causone, “Estimation models of heating energy consumption in schools for local authorities planning”, *Energy and Buildings*, vol. 105, no. December 2010, pp. 302–313, 2015.
- [36] E. Beusker, C. Stoy, S. N. Pollalis, “Estimation model and benchmarks for heating energy consumption of schools and sport facilities in Germany”, *Building and Environment*, vol. 49, no. 1, pp. 324–335, 2012.
- [37] A. Aranda, G. Ferreira, M. D. Mainar-Toledo, S. Scarpellini, E. Llera Sastresa, “Multiple regression models to predict the annual energy consumption in the Spanish banking sector”, *Energy and Buildings*, vol. 49, pp. 380–387, 2012.
- [38] K. P. Amber, M. W. Aslam, and S. K. Hussain, “Electricity consumption forecasting models for administration buildings of the UK higher education sector”, *Energy and Buildings*, vol. 90, pp. 127–136, 2015.
- [39] T. Catalina, V. Iordache, B. Caracaleanu, “Multiple regression model for fast prediction of the heating energy demand”, *Energy and Buildings*, vol. 57, pp. 302–312, 2013.
- [40] M. Nilashi, M. Dalvi-Esfahani, O. Ibrahim, K. Bagherifard, A. Mardani, and N. Zakuan, “A soft computing method for the prediction of energy performance of residential buildings”, *Journal of the International Measurement Confederation*, vol. 109, pp. 268–280, 2017.
- [41] Z. Yu, F. Haghghat, B. C. M. Fung, H. Yoshino, “A decision tree method for building energy demand modeling”, *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1637–1646, 2010.
- [42] R. Jovanović, A. A. Sretenović, B. D. Živković, “Ensemble of various neural networks for prediction of heating energy consumption”, *Energy and Buildings*, vol. 94, pp. 189–199, 2015.
- [43] М. Поповић, Д. Игњатовић, А. Рајчић, *Национална типологија зграда предшколских установа Србије*, Београд: Немачка организација за међународну сарадњу (ГИЗ), 2018.
- [44] N. Ćuković Ignjatović, D. Ignjatović, B. Zeković, “Improving energy efficiency of kindergartens in Serbia: challenges and potentials”, *Thermal Science*, vol. 24, no. 6A, pp. 3521–3532, 2020.
- [45] M. S. O. Ilha, O. M. Gonçalves, S. V. De Amorim, “Estimating water consumption in nursery and elementary public schools”, *CIB W062 Symposium*, no. 1, pp. 1–10, 2005.
- [46] T. Flores, A. Kalbusch, E. Henning, “Factors influencing water consumption in buildings in southern Brazil”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 184, pp. 160–167, 2018.
- [47] M. Bourdeau, X. qiang Zhai, E. Nefzaoui, X. Guo, P. Chatellier, “Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 48, no. November 2018, p. 101533, 2019.
- [48] J. C. Wang, “Energy consumption in elementary and high schools in Taiwan”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 227, pp. 1107–1116, 2019.
- [49] M. I. Liziero, L. I. Mazzarella, M. A. Motta, D. Energetica, P. Milano, “Building EQ : tools and methods for linking EPBD to continuous commissioning”, *Energy, climate and indoor comfort in mediterranean countries (CLIMAMED)*, 2007.
- [50] S. Ostojić, Z. Veršić, I. Muraj, “Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini”, *Energy and Buildings*, vol. 115, pp. 47–54, 2016.
- [51] S. P. Corgnati, V. Corrado, M. Filippi, “A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools”, *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 5, pp. 801–809, 2008.

- [52] P. G. Jones, R. N. Turner, D. W. J. Browne, P. J. Illingworth, “Energy benchmarks for public sector buildings in Northern Ireland”, *The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)*, pp. 1–8, 2000.
- [53] N. Vatin, O. Gamayunova, D. Nemova, “An energy audit of kindergartens to improve their energy efficiency”, *Advances in Civil Engineering and Building Materials IV*, 2014.
- [54] P. Pawelec, K. Kuczek, K. Hardyl, “Aktualizacja założeń do planu zaopatrzenia Bydgoszczy w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe do 2025r”, Kielce, 2017.
- [55] A. Thewes, S. Maas, F. Scholzen, D. Waldmann, A. Zürbes, “Field study on the energy consumption of school buildings in Luxembourg”, *Energy and Buildings*, vol. 68, pp. 460–470, 2014.
- [56] D. Čulig-Tokić, G. Krajačić, B. Doračić, B. V. Mathiesen, R. Krklec, J. M. Larsen, “Comparative analysis of the district heating systems of two towns in Croatia and Denmark”, *Energy*, vol. 92, pp. 435–443, 2015.
- [57] C. A. Balaras, E. G. Dascalaki, K. G. Droutsas, M. Micha, “Energy use intensities for non-residential buildings”, *48th International HVAC&R Congress and Exhibition*, Belgrade, 2017.
- [58] J. Rose, K. E. Thomsen, “Energy saving potential in retrofitting of non-residential buildings in Denmark”, *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 1009–1014, 2015.
- [59] A. Power, M. Zulaf, “Cutting Carbon Costs: Learning from Germany’s Energy Saving Program”, London, 2011.
- [60] J. W. Bleyl-androschin and D. Schinnerl, *Comprehensive Refurbishment of Buildings through Energy Performance Contracting A Guide for Building Owners and ESCOs including Good Practice Examples*, Graz: Graz Energy Agency, 2010.
- [61] S. Oduro-Kwarteng, K. B. Nyarko, S. N. Odai, P. Aboagye-Sarfo, “Water conservation potential in educational institutions in developing countries: Case study of a university campus in Ghana”, *Urban Water Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 449–455, 2009.
- [62] L. Martín, “Reducir el consumo de energía mediante un uso sostenible del agua. Agua y energía, un binomio insoluble”, 2014. [Он-лайн]. Доступно на: <https://www.construible.es/comunicaciones/reducir-consumo-energia-mediante-uso-sostenible-agua-agua-energia-binomio-insoluble>. [Приступљено: 28.11.2018].
- [63] J. Gallego Sánchez-Torija, E. Larrumbide Gómez-Rubiera, C. Bedoya Frutos, “The incorporation of the study into water consumption in energy audits in schools”, *Revista de la construcción*, vol. 16, no. 3, pp. 361–373, 2017.
- [64] California Energy Commission, “Refining estimates of water related energy use in California: Prefinal project report”, Sacramento, 2006.
- [65] A. Garrido, L. Hardy, *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España*, Madrid, 2010.
- [66] V. Ahuja, “Water consumption norms and utilities management”, *10th World Aqua Congress*, New Delhi, India, 2016.
- [67] M. Farina, M. Maglionico, M. Pollastri, I. Stojkov, “Water consumptions in public schools”, *Procedia Engineering*, vol. 21, pp. 929–938, 2011.
- [68] The European Parliament and the Council of the European Union, “Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency,” *Official Journal of the European Union*, pp. 1–56, 2012.
- [69] M. Bernhard, M. Florian, W. Rührich, T. Kluge, J. Deffner, K. Götz, S. Liehr, B. Michel, M. Florian, “Wasserbedarfsprognose 2030 für das Versorgungsgebiet der Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW)”, Frankfurt am Main / Darmstadt, 2007.

- [70] R. Kohavi, G. H. John, “Wrappers for feature subset selection”, *Artificial Intelligence*, vol. 97, no. 1–2, pp. 273–324, 1997.
- [71] K. A. F. Copeland, *Applied Linear Statistical Models*. New York: McGraw-Hill/Irwin, 1997.
- [72] D. H. Barlow, V. M. Durand, S. G. Hofmann, *Essentials of Modern Business Statistics with Microsoft Office Excel*, Boston: Cengage Learning, 2018.
- [73] H. Akoglu, “User’s guide to correlation coefficients”, *Turkish Journal of Emergency Medicine*, vol. 18, no. 3, pp. 91–93, 2018.
- [74] A. Bravais, *Analyse mathématique sur les probabilités des erreurs de situation d’un poin*, Paris: Impr. Royale, 1844.
- [75] C. Spearman, “The Proof and Measurement of Association between Two Things”, *American Journal of Psychology*, vol. 15, no. 1, pp. 72–101, 1904.
- [76] M. Kendall, “A new measure of rank correlation”, *Biometrika*, vol. 30, no. 1–2, pp. 81–89, 1938.
- [77] J. Rawlings, S. Pantula, D. Dickey, *Applied Regression Analysis: A Research Tool, 2nd ed.*, New York: Springer-Verlag, 2006.
- [78] S. Piramuthu, “Input data for decision trees”, *Expert Systems With Applications*, vol. 34, no. 2, pp. 1220–1226, 2008.
- [79] P.-N. Tan, M. Steinbach, V. Kumar, *Introduction to Data Mining*, Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co, 2006.
- [80] J. R. Quinlan, “Induction of decision trees”, *Machine Learning*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
- [81] A. M. Hormann, “Book Review: C4.5: Programs for machine learning”, *Information and Control*, vol. 7, no. 1, pp. 55–77, 1964.
- [82] R. Parks, D. S. Levine, D. L. Long, *Fundamentals of Neural Network Modeling: Neuropsychology and Cognitive Neuroscience*, Cambridge: A Bradford Book, 1998.
- [83] A. Vukićević, G. Jovičić, M. Stojadinović, R. Prelević, N. Filipović, “Evolutionary assembled neural networks for making medical decisions with minimal regret: Application for predicting advanced bladder cancer outcome”, *Expert Systems With Applications*, vol. 41, no. 18, pp. 8092–8100, 2014.
- [84] “Књига 2: Старост и пол : Попис у Србији 2011.” [Он-лајн]. Доступно на: http://popis2011.stat.rs/?page_id=1234. [Приступљено: 13.11.2020].
- [85] N. Lukić, N. Jurišević, N. Nikolić, D. Gordić, “Specific heating consumption in the residential sector of Serbia - Example of the city of Kragujevac”, *Energy and Buildings*, vol. 107, pp. 163–171, 2015.
- [86] “Републички хидрометеоролошки завод Србије” [Он-лајн]. Доступно на: http://www.hidmet.gov.rs/eng/meteorologija/stanica_sr.php?moss_id=13278. [Приступљено: 14.11.2020].
- [87] D. Gordić, N. Jurišević, D. Živković, V. Vukašinović, D. Milovanović, D. Končalović, M. Josijević, “Benchmarking of Heat Energy Consumption in Public Buildings in the City of Kragujevac”, *eNergetics2018*, pp. 139–146, 2018.
- [88] Влада Републике Србије, “Правилник о енергетској ефикасности зграде”, *Службени гласник Републике Србије бр. 61/2011*, 2011.
- [89] Н. Јуришевић, М. Јосијевић, Н. Ракић, А. Миловановић, “Специфична потрошња финалне енергије у предшколским установама у Крагујевцу”, *Енергија Економија Екологија*, vol. 17, no. 1–2, pp. 390–396, 2016.
- [90] В. Вукашиновић, Н. Јуришевић, М. Јосијевић, Д. Живковић, Д. Гордић, “Повезивање ефикасности коришћења топлотне енергије објеката предшколских

- установа - студија случаја обданиште ‘Цицибан,’” *Техника*, vol. 73, no. 3, pp. 381–388, 2018.
- [91] Д. Јовановић, Д. Гордић, Ј. Николић, Н. Јуришевић, М. Јосијевић, “Топлотно билансирање и повећање ефикасности коришћења топлотне енергије вртића ‘Зека’ у граду Крагујевцу, Србија”, *Енергија Економија Екологија*, pp. 187–193, 2020.
- [92] “Енергетика д.о.о. Крагујевац” [Он-лајн]. Доступно на: <http://www.energetika-kragujevac.com/korisnickiservis.php>. [Приступљено: 04.12.2020].
- [93] N. Jurišević, D. Gordić, A. Vukićević, “Assessment of predictive models for the estimation of heat consumption in kindergartens”, *Thermal Science*, 2021.
- [94] The Energy Research Institute, *How to save energy and money Guide Book 6 - Insulation*, Cape Town: University of Cape Town, 2019.
- [95] R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*. San Mateo: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- [96] “Service Sector | Encyclopedia.com.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.encyclopedia.com/humanities/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/service-sector>. [Приступљено: 30.9.2020].
- [97] Влада Републике Србије, “Закон о предшколском васпитању и образовању”, *Службени гласник Републике Србије бр. 18/2010*, 101/2017.
- [98] “Предшколске установе у републици Србији | Завод за унапређивање образовања и васпитања.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://zuov.gov.rs/predskolske-ustanove-u-republici-srbiji/>. [Приступљено: 09.10.2020].
- [99] “Државни и верски празници Републике Србије | Министарство за рад, запошљавање, борачка и социјална питања.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.minrzs.gov.rs/sr/ministarstvo/drzavni-i-verski-praznici-republike-srbije>. [Приступљено: 09.10.2020].
- [100] “Conference of the Parties (COP) | UNFCCC.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>. [Приступљено: 27.10.2020].
- [101] “Агенција за енергетику Републике Србије.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.aers.rs/Index.asp?l=1&a=45&tp=TEEZ>. [Приступљено: 21.10.2020].
- [102] “ISO/TR 14069:2013(en), Greenhouse gases — Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations — Guidance for the application of ISO 14064-1.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:14069:ed-1:v1:en>. [Приступљено: 22.10.2020].
- [103] “Data Mining Definitions.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www3.nd.edu/~busiforc/handouts/DataMining/dataminingdefinitions.html>. [Приступљено: 04.11.2020].
- [104] “Predictor Variable - SAGE Research Methods.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://methods.sagepub.com/reference/encyc-of-research-design/n329.xml>. [Приступљено: 04.11.2020].
- [105] “Coefficient of determination | Interpretation & Equation | Britannica.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.britannica.com/science/coefficient-of-determination>. [Приступљено: 05.11.2020].

- [106] C. J. Willmott, K. Matsuura, “Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance”, *Climate Research*, vol. 30, no. 1, pp. 79–82, 2005.
- [107] “Mean Percentage Error (MPE)”, *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, Springer US, 2006, pp. 462–463.
- [108] “Mean Absolute Percentage Error (MAPE)”, *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*, Springer US, 2006, pp. 462–462.
- [109] “Mean Squared Error”, *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer US, 2011, pp. 653–653.
- [110] “ISO - ISO 3166 — Country Codes.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.iso.org/iso-3166-country-codes.html>. [Приступљено: 13.10.2020].
- [111] “2018 Revision of World Urbanization Prospects | Multimedia Library - United Nations Department of Economic and Social Affairs.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. [Приступљено: 12.10.2020].
- [112] “Correlation | Definition of Correlation by Merriam-Webster.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/correlation>. [Приступљено: 23.01.2021].
- [113] “Variance Inflation Factor (VIF) Definition.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.investopedia.com/terms/v/variance-inflation-factor.asp>. [Приступљено: 24.01.2021].
- [114] “Hyperplane | Definition of Hyperplane by Merriam-Webster.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/hyperplane>. [Приступљено: 24.01.2021].
- [115] K. Ekström, “Symbolic Value”, *Encyclopedia of Consumer Culture*, Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2014.
- [116] B. Ripley, *Pattern Recognition and Neural Networks*, Oxford: Cambridge University Press, 1996.
- [117] H. Almuallim, “An efficient algorithm for optimal pruning of decision trees”, *Artificial Intelligence*, vol. 83, no. 2, pp. 347–362, 1996.
- [118] L. Sullivan, “Synapse”, *The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences*, Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 2012.
- [119] З. Миљковић, Д. Александрић, *Веџтачке неуронске мреже, збирка решених задатака са изводима из теорија*, Београд: Универзитет у Београду - Машински факултет, 2018.
- [120] М. Миладиновић, М. Михајловић, М. Миленковић, *Индикатори климатских промена на подручју Републике Србије*, Београд, 2010.
- [121] Влада Републике Србије, “Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграде”, *Службени гласник Републике Србије бр. 69/2012*, 2012.
- [122] World Health Organization, *WHO Housing and health guidelines*. 2018.
- [123] “Standard 55-2017 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI/ASHRAE Approved)”, 2017. [Он-лајн]. Доступно на: https://www.techstreet.com/ashrae/standards/ashrae-55-2017?product_id=1994974. [Приступљено: 07.12.2020].
- [124] J. W. Gooch, “Room Temperature”, *Encyclopedic Dictionary of Polymers*, Springer New York, 2011, pp. 637–637.

- [125] J. W. Gooch, “Rotameter”, *Encyclopedic Dictionary of Polymers*, Springer New York, 2011, pp. 638–638.
- [126] “Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.” [Он-лајн]. Доступно на: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>. [Приступљено: 09.02.2021].
- [127] T. Catalina, J. Virgone, E. Blanco, “Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings”, *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 10, pp. 1825–1832, 2008.

ПРИЛОГ 1

Пример анкете о проветравању просторија попуњаване од стране васпитача у предшколским
установама

АНКЕТА О ПРОВЕТРАВАЊУ ПРОСТОРИЈА У ПРЕДШКОЛСКИМ УСТАНОВАМА

Анкета се попуњава са циљем утврђивања утицаја појединачних параметара на комфор корисника и потрошњу енергије у вртићима. Анкета нема контролни нити било какав други облик провере. Одговори анкете ће бити употребљени у сврху дефинисања шаблона проветравања просторија за потребе научног истраживања. Са тим у вези, васпитачи се моле да што приближније одговоре на питања наведена испод и заокруже или упишу одговор који се поклапа са њиховом искуством и радном свакодневницом:

1) Просторију/учионицу групе проветравам:

- не проветравам / нема потребе за проветравањем⁸¹
- 1 – 2 пута дневно
- 2 – 3 пута дневно
- 3 – 4 пута дневно
- 4 – 5 пута дневно
- више од 5 пута дневно (написати оквирно колико пута ____)

Уколико се простор проветрава:

2) У сврху проветравања, оквирно, истовремено отварам:

- један прозор
- два прозора
- три прозора
- више од три прозора (написати колико ____)

3) Свако проветравање простора у просеку траје:

- 1 – 2 минута
- 2 – 3 минута
- 3 – 4 минута
- 4 – 5 минута
- више од 5 минута (написати колико ____)

4) У радној просторији држим један или више прозора благо отвореним у сврху проветравања (одшкринут или отворен на кип):


- НЕ
- ДА:
 - један сат или мање,
 - два сата,
 - три сата,
 - четири сата,
 - више од четири сата (уписати оквирно колико) ____ ,
 - у току целог дана


Уколико је у радном простору/учионици благо отворено више прозора уписати оквирно колико: ____


Хвала на издвојеном времену.
маст. инж. маш. Небојша Јуришевић, Факултет инжењерских наука

⁸¹ За случај зграда са релативно старом столаријом и релативно великим зазорима између прозорског оквира и прозорског крила.

ПРИЛОГ 2

Зграда	<p align="center">Вртић: Наша радост Установа за децу Нада Наумовић Улица Милована Глишића 14, Крагујевац</p>				
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица		
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1947.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	1	
	Спратност	NF	[-]	3	
	Начин грејања	HS	[-]	0	
	Јаслена група	EN	[-]		
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	468	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	376	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	484 - 635	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	484	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	1382	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	92	
	Површина плафона	CA	[m ²]	180	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	37	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,38	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	4,01	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,37	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	518,33	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	369	
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,19		
Фактор облика	AR	[1/m]	0,6		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0,45	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	3,28	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	15,78	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	6	
	Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	3
Укупан број водокотлића		NTF	[-]	3	
Укупан број славина са дворучним батеријама		NBF	[-]	10	
Укупни број једноручних славина са мешачком главом		NCF	[-]	0	
Укупан број славина		TNF	[-]	10	
Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи		MKWF	[l/min]	16	
Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима		MTWF	[l/min]	16	
Дневни број прања веш машином		LWPW/5	[-]	0	

Зграда	Вртић: Лептирић Установа за децу Нада Наумовић Улица Карађорђева, Крагујевац			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1948.
	Број зграда	NB	[-]	2
	Тип градње	TB	[-]	1
	Спратност	NF	[-]	1
	Начин грејања	HS	[-]	0
	Јаслена група	EN	[-]	0
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	740
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	642
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	452
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	452
	Грејана запремина	HV	[m ³]	1429
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	98
	Површина плафона	CA	[m ²]	494
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	40,6
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,28
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,68
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	1,75
	Тип крова	RT	[-]	1
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	811,28
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	361
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	1,21	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,22	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	2
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага расвете [150W]	PL150	[kW]	0,45
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	6,52
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	18,41
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	12
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	4
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	7
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	11
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	2
	Укупан број славина	TNF	[-]	13
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	15
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	11
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	1


Зграда	Вртић: Бамби Установа за децу Нада Наумовић Улица Мирослава Антића бб., Крагујевац				
Тип детаља	Општи детаљи		Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1968.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	2	
	Спратност	NF	[-]	2	
	Начин грејања	HS	[-]	0	
	Јаслена група	EN	[-]	1	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	1121	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	573	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	862	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	862	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	2888	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	548	
	Површина плафона	CA	[m ²]	759	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	12,96	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,5	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	1,59	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,52	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	288,91	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	869	
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,64		
Фактор облика	AR	[1/m]	0,91		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	1	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	4	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	12	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	16	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	17	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	19	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	4	
	Укупан број славина	TNF	[-]	23	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	26	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	22	
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	4	


Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1970.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	2
	Спратност	NF	[-]	1
	Начин грејања	HS	[-]	0
	Јаслена група	EN	[-]	0
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	-
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	68
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	107
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	107
	Грејана запремина	HV	[m ³]	346
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	50
	Површина плафона	CA	[m ²]	107
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	-
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	2,47
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	5,8
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	-
	Тип крова	RT	[-]	-
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	167,96
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	290
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,47	
Фактор облика	AR	[1/m]	-	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	1,08
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	5,26
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	2
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	1
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	1
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	2
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	1
	Укупан број славина	TNF	[-]	3
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	6,5
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	6,5
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	0



Зграда	<p style="text-align: center;">Врстић: „Зека” Установа за децу „Ђурђевдан” Улица Сутјеска бб, Крагујевац</p>			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1973.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	3
	Спратност	NF	[-]	2
	Начин грејања	HS	[-]	0
	Јаслена група	EN	[-]	1
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	738
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	502
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	942
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	860
	Грејана запремина	HV	[m ³]	2580
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	236
	Површина плафона	CA	[m ²]	557
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	38,88
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,38
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,60
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,25
	Тип крова	RT	[-]	0
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	692,76
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	850
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,27	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,72	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	1
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	6,74
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	18,41
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	14
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	9
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	23
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	1
	Укупан број славина	TNF	[-]	24
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	29
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	16
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	7


Зграда	<p align="center">Вртић: „Невен” Установа за децу „Бурђевдан” Улица Радомира Бугарског бб, Крагујевац</p>			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1974.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	3
	Спратност	NF	[-]	1
	Начин грејања	HS	[-]	1
	Јаслена група	EN	[-]	1
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	1036
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	824
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	1174
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	1174
	Грејана запремина	HV	[m ³]	3745
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	270
	Површина плафона	CA	[m ²]	780
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	103,6
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,46
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,21
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,35
	Тип крова	RT	[-]	1
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	379,04
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	867
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,18	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,69	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	11,37
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	15,78
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	20
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	8
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	16
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	32
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	2
	Укупан број славина	TNF	[-]	34
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	14
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	14
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	4

Зграда	<p align="center">Вртић: „Цицибан” Установа за децу „Бурђевдан” Улица Кнеза Милоша 21а, Крагујевац</p>				
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица		
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1974.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	3	
	Спратност	NF	[-]	1	
	Начин грејања	HS	[-]	0	
	Јаслена група	EN	[-]	1	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	764	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	265	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	1370	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	1370	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	4482	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	499	
	Површина плафона	CA	[m ²]	1370	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	-	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	2	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	4,26	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	1,4	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	530	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	2125,74	
	Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,36	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,56		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	7,85	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	23,67	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	6	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	15	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	22	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	5	
	Укупан број славина	TNF	[-]	27	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	20	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	15	
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	4	

Зграда	<p style="text-align: center;">Вртић: „Колибри” Установа за децу „Бурђевдан” Улица Јосифа Шнерсона 3а, Крагујевац</p>			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1974.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	3
	Спратност	NF	[-]	2
	Начин грејања	HS	[-]	0
	Јаслена група	EN	[-]	1
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	990
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	537
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	1942
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	1942
	Грејана запремина	HV	[m ³]	5199
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	453
	Површина плафона	CA	[m ²]	1036
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	36,72
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,46
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,52
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,34
	Тип крова	RT	[-]	1
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	247,2
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	1596
Однос укупне површине гр. столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,23	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,59	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	1
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0,9
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	19
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	23,67
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	8
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	14
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	26
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	34
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	5
	Укупан број славина	TNF	[-]	39
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	23
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	21
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	3


Зграда	<p align="center">Вртић: „Лане” Установа за децу „Нада Наумовић” Улица Црвене заставе бб., Крагујевац</p>			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1974.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	3
	Спратност	NF	[-]	2
	Начин грејања	HS	[-]	0
	Јаслена група	EN	[-]	1
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	685
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	412
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	807
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	807
	Грејана запремина	HV	[m ³]	2598
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	273
	Површина плафона	CA	[m ²]	903
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	30
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,16
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	2,88
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	1,4
	Тип крова	RT	[-]	0
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	478,74
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	785
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,34	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,51	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	1
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	15,78
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	10,56
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	14
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	13
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	16
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	6
	Укупан број славина	TNF	[-]	22
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	18
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	16
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	7

Зграда	Вртић: „Црвенкапа” Установа за децу „Нада Наумовић” Улица Светозара Марковића 116, Крагујевац				
Тип детаља	Општи детаљи		Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1974.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	3	
	Спратност	NF	[-]	1	
	Начин грејања	HS	[-]	3	
	Јаслена група	EN	[-]	1	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	878	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	482	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	1486	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	1486	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	3715	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	396	
	Површина плафона	CA	[m ²]	482	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	-	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,6	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,1	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	2,73	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	771,2	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	1227,6	
	Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,27	
Фактор облика	AR	[1/m]	0,47		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	2	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	1,2	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	12,43	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	31,56	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	10	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	15	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	30	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	33	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	6	
	Укупан број славина	TNF	[-]	39	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	18,25	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	12	
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	3	

Зграда	<p style="text-align: center;">Вртић: „Чуперак” Установа за децу „Ђурђевдан” Улица 19. Октобра , Крагујевац</p>			
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1980.
	Број зграда	NB	[-]	1
	Тип градње	TB	[-]	4
	Спратност	NF	[-]	2
	Начин грејања	HS	[-]	1
	Јаслена група	EN	[-]	1
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	2708
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	2247
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	1321
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	1321
	Грејана запремина	HV	[m ³]	4057
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	461
	Површина плафона	CA	[m ²]	822
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	72
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	1,38
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,52
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	1,53
	Тип крова	RT	[-]	1
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	3099,48
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	1621
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,35	
Фактор облика	AR	[1/m]	1,07	
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	1,2
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	13,77
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	0
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	12
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	12
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	22
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	5
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	42
	Укупан број славина	TNF	[-]	47
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	16
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	16
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	2

Зграда	Вртић: „Полетарац” Установа за децу „Нада Наумовић” Улица Незнаног Јунака бб, Крагујевац				
Тип детаља	Општи детаљи		Ознака	Јединица	
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	1982.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	4	
	Спратност	NF	[-]	2	
	Начин грејања	HS	[-]	0	
	Јаслена група	EN	[-]	1	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	2480	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	1725	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	2379	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	2379	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	7636	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	755	
	Површина плафона	CA	[m ²]	346	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	51,48	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,34	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	3,11	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,34	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	853,12	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	2350	
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,32		
Фактор облика	AR	[1/m]	0,42		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0,75	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	26,69	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	52,6	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	48	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	23	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	33	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	58	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	10	
	Укупан број славина	TNF	[-]	68	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	20	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	13	
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	4	

Зграда	<p align="center">Вртић: „Сунце” Установа за децу „Нада Наумовић” Улица Црвене заставе бб, Крагујевац</p>				
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица		
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	2008.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	5	
	Спратност	NF	[-]	1	
	Начин грејања	HS	[-]	0	
	Јаслена група	EN	[-]	0	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	311	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	243	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	387	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	387	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	1136	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	68	
	Површина плафона	CA	[m ²]	387	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	21	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,16	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	2,71	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,35	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	69,92	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	184	
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,18		
Фактор облика	AR	[1/m]	0,96		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	17,25	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	2,87	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	15,78	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	10	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	13	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	16	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	6	
	Укупан број славина	TNF	[-]	22	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	45	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	17	
Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	0		

Зграда	Вртић: „Цветић” Установа за децу „Нада Наумовић” Улица Цветна бб, Крагујевац				
Тип детаља	Општи детаљи	Ознака	Јединица		
Опште физичке карактеристике зграде	Година изградње	BY	[год.]	2010.	
	Број зграда	NB	[-]	1	
	Тип градње	TB	[-]	5	
	Спратност	NF	[-]	1	
	Начин грејања	HS	[-]	1	
	Јаслена група	EN	[-]	1	
	Бруто површина спољашњих зидова	EWGS	[m ²]	230	
	Нето површина спољашњих зидова	EWNS	[m ²]	150	
	Корисна површина пода	UFA	[m ²]	464	
	Грејана површина пода	HFA	[m ²]	464	
	Грејана запремина	HV	[m ³]	1508	
	Површина грађевинске столарије	GFA	[m ²]	80	
	Површина плафона	CA	[m ²]	464	
	Површина прозора која се користи за проветравање простора	SWNV	[m ²]	19	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте сп. зидова	U-EWA	[W/m ² K]	0,16	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте гр. столарије	U-FA	[W/m ² K]	2,90	
	Ср. вредност коефицијента пролаза топлоте плафона	U-C	[W/m ² K]	0,35	
	Тип крова	RT	[-]	1	
	Производ EWNS и U-EWA	EWNS·U	[W/K]	24	
	Производ GFA и U-FA	GFA·U	[W/K]	232	
Однос укупне површине грађевинске столарије и корисне површине пода зграде	GFA/UFA	[-]	0,17		
Фактор облика	AR	[1/m]	0,77		
Општи детаљи електричних инсталација	Укупан број бројила	NC	[-]	1	
	Одобрена снага бројила	PL	[kW]	69	
	Хладњача (не/да – 0/1)	CR	[-]	0	
	Вешерај (не/да – 0/1)	LR	[-]	0	
	Кухиња (не/да – 0/1)	K	[-]	0	
	Укупна снага спољашње расвете [150W]	PL150	[kW]	0	
	Укупна снага расвете	PLSUM	[kW]	3,39	
	Укупна снага клима уређаја	PHVAC	[kW]	15,78	
	Укупна снага бојлера за топлу воду	PWB	[kW]	8	
Општи детаљи водоводних инсталација	Укупан број тоалета	NT	[-]	5	
	Укупан број водокотлића	NTF	[-]	9	
	Укупан број славина са дворучним батеријама	NBF	[-]	0	
	Укупни број једноручних славина са мешачком главом	NCF	[-]	20	
	Укупан број славина	TNF	[-]	20	
	Проток при потпуно отвореној славини у приручној кухињи	MKWF	[l/min]	27	
	Проток при потпуно отвореној славини у тоалетима	MTWF	[l/min]	13	
	Дневни број прања веш машином	LWPW/5	[-]	1	

Биографија аутора

Небојша Јуришевић, рођен 30.01.1989. године у Крагујевцу. Средње образовање успешно завршио као матурант Прве крагујевачке гимназије 2008. године. Основне академске студије у трајању од три година (6 семестара) на Машинском факултету у Крагујевцу (сада Факултет инжењерских наука) уписао школске 2008/2009. године. Дана 05.10.2011. године одбранио завршни испит из предмета Пренос снаге флуидом, на тему „Пригушење удара клипа хидроцилиндара“, оценом 10 и просечном оценом у току студија 8,70 и тиме завршио основне академске студије и стекао академско звање „инжењер машинства“.

Мастер академске студије у трајању од две година (4 семестра) на Факултету инжењерских наука уписао школске 2011/2012. године. На дан 30.08.2013. одбранио завршни испит из предмета Обновљиви извори енергије 2, на тему „Методологија избора и одређивања основних димензија турбина МХЕ, оценом 10 и просечном оценом у току студија 9,81 и тиме завршио мастер академске студије на смеру Енергетика и процесна техника и стекао академско звање „мастер инжењер машинства“.

За постигнут успех у току студија награђен је као најбољи дипломирани студент основних академских студија генерације 2008. и најбољи дипломирани студент мастер академских студија генерације 2011., катедре за Енергетику и процесну технику.

Докторске академске студије уписао школске 2013/2014. године као буџетски студент на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, научна област Енергетика и процесна техника, под менторством проф. др Душана Гордића. Све предмете предвиђене студијским програмом положио је са просечном оценом 10.

Од априла 2013. г. је стипендиста-докторанд Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије. Од априла 2015. г., као истраживач сарадник, запослен је на Факултету инжењерских наука где је ангажован на реализацији пројекта интегралних и интердисциплинарних истраживања Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије: III 42013 - Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енергетским Р. Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења.

Од школске 2012/2013. године, као истраживач-сарадник учествовао у извођењу вежби из предмета: Механика флуида, Енергија и животна средина, Процесни апарати и постројења, Технологије и постројења за третман вода и ваздуха, Обновљиви извори енергије 1, Обновљиви извори енергије 2, Инжењерски софтвери и Е – управа.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, _____, изјављујем да докторска дисертација под насловом:

која је одбрањена на _____
Универзитета у Крагујевцу представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,
- да умножени примерак докторске дисертације у штампаној и електронској форми у чијем се прилогу налази ова Изјава садржи докторску дисертацију истоветну одбрањеној докторској дисертацији.

У _____, _____ године,

потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, _____,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

која је одбрањена на _____

Универзитета у Крагујевцу, и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У _____, _____ године,

потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>