

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Енерго-еколошки менаџмент
Број индекса: 354/2016

Јелена Р. Николић

**Енергетско билансирање затворених
базена - Студија случаја-затворени
пливачки базени у Крагујевцу**
Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Душан Гордић - ментор
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- дефинише индикаторе специфичне потрошње енергије и воде у затвореним базенима,
- прикупи и систематизира релевантне податке о вредностима поменутих индикатора,
- дефинише мере и активности за смањење потрошње и трошкова енергије и воде у затвореним базенима,
- да изврши енергетско затворених пливачких базена у Крагујевцу.

Препоручена литература:

[1] M. Banjac et al., Priručnik za energetske menadžere za oblast opštinske energetike. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2016.

[3] W. Kämpel, S. Carlucci, B. Aas, and A. Bruland, "A proposal of energy performance indicators for a reliable benchmark of swimming facilities," Energy Build., vol. 129, pp. 186–198, Oct. 2016

[5] "Energy efficiency in swimming pools-for centre managers and operators, Good practice guide219." Oxfordshire, 1997.

[4] E. Trianti-Stourna et al., "Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools," Energy Build., vol. 27, no. 2, pp. 123–135, Apr. 1998.

Крагујевац, мај 2018.

Ментор:

Душан Гордић, редовни професор

Abstract

This paper presents energy auditing of indoor swimming pool in Kragujevac. Energy consumption was analyzed using energy performance indicators. Average annual energy consumption was compared with consumption data from similar facilities around the world. Measures that can increase energy efficiency of the building were identified. For every measures, potential savings and payback period were determined. One of the measures is implementation of solar collector in purpose of heating domestic water, which saves 264.268,97 kWh/year. Installation of solar collector in purpose of heating pool water can save 82.690,2 kWh/year. During the period when swimming pool is closed for the visitors, using of pool covers can save 209.079 kWh/year. By replacement of existing bulbs with LED solution, 60,44% of electricity consumption can be reduced. Since in analyzed building there is no compensation of reactive energy, implementation of power capacitors can save around 730 €/year. The possibility of implementation of the cogeneration plant was analyzed using RETScreen software package, and the implementation of this measure can save 6.000 €/year. From the measures that are not directly connected with energy savings, but increase lifetime of equipment, instalation of timer for pump in system for water heating is recomend, as well as instalation of motor soft-starter.

Key words: indoor swimming pools, energy audit, energy efficiency, energy saving

Резиме

У раду је описано постројење затворених пливачких базена у Крагујевцу и анализирана је потрошња енергије кроз примену индикатора енергетске ефикасности. Просечна годишња потрошња је поређена са подацима о потрошњи у објектима сличне намене у свету. Утврђене су могућности за имплементацију мера које би директно утицале на повећање енергетске ефикасности у анализираном објекту. За сваку од предложених мера одређена је потенцијална уштеда, као и период отплате. Разматрана је могућност инсталације соларних колектора за загревање базенске воде, са могућношћу уштеде од 264.268,97 kWh/год. Инсталацијом соларних колектора за загревањем санитарне топле воде годишње се може уштедети 82.690,2 kWh/год. Инсталацијом покривача за базене, у периоду када су затворени за посетиоце, може се остварити уштеда од 209.079 kWh/год. Заменом постојеће расвете енергетски ефикаснијом могуће је остварити уштеду од 60,44%. Како у згради базена не постоје компензатори реактивне енергије, процењено је да би њиховом уградњом могло да се уштеди 730 €/год. Могућност уградње когенерационог постројења анализирана је употребном RETScreen софтверског пакета. Од мера које нису директно повезане са уштедом енергије, већ се заснивају на повећању радног века опреме, препоручује се уградња програмирајућег тајмера за рад пумпи у систему за припрему санитарне топле воде, као и софт-стартера за покретање мотора у филтерском постројењу.

Кључне речи: затворени пливачки базени, енергетско билансирање, енергетска ефикасност, уштеда енергије

Садржај

1.0. Увод.....	7
2.0. Потрошња енергије и воде у затвореним пливачким базенима	9
2.1. Потрошња енергије и воде у затвореним пливачким базенима	9
2.2. Индикатори енергетске ефикасности за затворене пливачке базене	11
3.0. Мере за уштеду енергије и воде у зградама затворених пливачких базена	17
3.1. Мере за уштеду топлотне енергије.....	18
3.2. Мере за уштеду електричне енергије.....	19
3.3. Мере за уштеду воде.....	19
4.0. Енергетско билансирање затворених пливачких базена у Крагујевцу.....	21
4.1. Опис техничких постројења	21
4.1.1. Систем за генерисање топлотне енергије	21
4.1.2. Систем грејања	22
4.1.3. Систем за загревање базенске воде	23
4.1.4. Систем климатизације	23
4.1.5. Припрема санитарне топле воде.....	26
4.1.6. Систем за филтрацију воде	26
4.1.7. Хемијски третман воде.....	27
4.1.8. Расвета.....	28
4.2. Потрошња енергије и воде и индикатори специфичне потрошње	28
4.2.1. Потрошња електричне енергије и индикатори потрошње.....	28
4.2.2. Потрошња топлотне енергије и индикатори потрошње	30
4.2.3. Потрошња воде и индикатори потрошње.....	33
4.2.4. Укупна потрошња енергије.....	34
5.0. Предлог мера уштеде енергије у згради затворених пливачких базена у Крагујевцу.....	37
5.1. Уградња компензатора реактивне енергије.....	38
5.2. Загревање санитарне воде пријемницима сунчеве енергије.....	40
5.3. Загревање базенске воде пријемницима сунчеве енергије	41

5.4. Инсталација програмирајућег тајмера на пумпама санитарне топле воде.....	42
5.5. Уградња покривача за базене	43
5.6. Замена постојеће расвете LED расветом	43
5.7. Уградња когенерационог постројења	44
6.0. Закључак	47
Литература.....	48
Прилог 1 Упитник о енергетској ефикасности објекта.....	51
Прилог 2 Попис расвете у просторијама затворених пливачких базена у Крагујевцу ...	56
Прилог 3 Попис пумпи и вентилатора са номиналном снагом и ангажовањем.....	59

Попис слика

Слика 1.	9
Расподела просечних трошкова за енергију у зградама пливачких базена [10].....	9
Слика 2. Просечна потрошња воде у затвореним пливачким базенима у Сиднеју [18]	11
Слика 3. Удеоно учешће у потрошњи енергије по јединици површине анализираних базенских објеката	15
Слика 4. Удеоно учешће у потрошњи енергије по јединици водене површине анализираних базенских објеката.....	15
Слика 5. Упрошћена шема топловодног система затворених пливачких базена у Крагујевцу.....	22
Слика 6. Технички цртеж измењивача топлоте Euro heat s270 [30]	23
Слика 7. Режим рада клима коморе током кога се базенски ваздух брзо загрева у зимском периоду	24
Слика 8. Режим рада клима коморе у зимском периоду без купача	24
Слика 9. Режим рада клима коморе у зимском периоду са купачима.....	24
Слика 10. Режим рада клима коморе, током прелазног периода	25
Слика 11. Режим рада клима коморе током виших спољних температура	25
Слика 12. Режим рада клима коморе код виших температура и повишене влажности ваздуха	25
Слика 13. Месечна потрошња електричне енергије за период од 2014.-2016. године ..	29
Слика 14. Просечна расподела потрошње електричне енергије.....	29
Слика 15. Месечна потрошња топлотне енергије у периоду од 2014. до 2016. године.	30
Слика 16. Зависност потрошње природног гаса од броја грејних степен дана.....	31
Слика 17. Просечна расподела потрошње топлотне енергије.....	32
Слика 18. Месечна потрошња воде у периоду од 2014.-2016. године	33
Слика 19. Структура потрошње финалне енергије у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу.....	34
Слика 20. Структура трошкова у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу.....	35
Слика 21. Структура потрошње примарне енергије	35
Слика 22. Упоредна потрошња финалне енергије у објектима затворених пливачких базена	36
Слика 23. Удеоно учешће анализираних базенских објеката у потрошњи укупно испоручене енергије по јединичној површини воденог огледала.....	36

Слика 24.	45
Приказ енергетског оптерећења анализираног објекта.....	45
Слика 25. Анализа могућности инсталације когенеративног постројења Vitobloc 200 модела ЕМ-20/39	46

Попис табела

Табела 1. Препоручене вредности температура за различите просторије у оквиру зграде затворених базена	9
Табела 2. Приказ специфичне потрошње енергије (СЕ) у зградама затворених пливачких базена	14
Табела 3. Потрошња воде у затвореним базенима	16
Табела 4. Предложене мере уштеде.....	17
Табела 5. Попис пумпи у систему за хемијски третман воде	27
Табела 7. Упоредна потрошња топлотне енергије и одговарајуће вредности грејних степен дана	31
Табела 8. Вресности основних индикатора потрошње топлотне енергије.....	33
Табела 9. Просечна цена енергената и воде.....	34
Табела 10. Предложене мере/активности за побољшање енергетске ефикасности у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу.....	37
Табела 11. Приказ потребне потрошње електричне енергије на годишњем нивоу	39
Табела 12. Упоредни приказ постојеће расвете и препоручене замене	43

1.0. Увод

Стални пораст популације и животног стандарда доводи до повећане потребе за енергијом. У периоду од 1984. до 2004. године, потрошња примарне енергије увећана је за 48%, са просечним годишњим порастом од 2% [1], при чему зграде представљају највеће глобалне потрошаче финалних облика енергије. Према EU Science Hub [2], 40% укупно испоручене енергије се троши у сектору зграда, које емитују 36% укупне количине угљен-диоксида (CO₂) у Европи. У Великој Британији сектор зграда потроши 39% испоручене енергије, у Швајцарској 47%, Јапану 28%, док се у Кини у зградарству троши 28% укупно испоручене енергије [3]. Овај процентуални удео у Републици Србији износи око 39% [4].

Сектор зграда може да се подели на стамбени и јавни сектор. Поткатегорије сектора јавних зграда су:

- 1) Објекти образовних институција:
 - вртићи;
 - основне школе;
 - средње школе;
 - специјалне школе;
 - остало.
- 2) Објекти здравствених институција:
 - здравствени центри;
 - домови здравља;
 - клинике;
 - болнице;
 - стационари.
- 3) Објекти колективног смештаја:
 - домови за стара лица;
 - студентски и ученички домови;
 - домови за незбринуту децу.
- 4) Објекти институција културе:
 - домови културе;
 - биоскопи;
 - позоришта;
 - музеји;
 - остало.
- 5) Спортски објекти
 - спортски центри;
 - базени отворени;
 - базени затворени;
 - спортске хале;
 - стадиони;
 - клизалишта;
 - остало.

- 6) Административни објекти:
 - зграде управе општинске/градске/државне;
 - остало.
- 7) Објекти јавног саобраћаја:
 - аутобуске станице;
 - остало.
- 8) Угоститељски објекти:
 - кухиње;
 - ресторани;
 - остало.
- 9) Објекти ЈКП:
 - производни;
 - остало.
- 10) Остали објекти

У јавном сектору на глобалном нивоу потроши се 19% укупно испоручене енергије [3]. Овај проценат у Европској Унији износи 25%, због чега се сматра да овај сектор има велики потенцијал за уштеду енергије. Просечна специфична потрошња финалне енергије у нестамбеним зградама на простору Европске Уније износи 208 kWh/m², што је готово за 40% више у односу на специфичну потрошњу која се бележи у стамбеном сектору. Поред тога, јавни објекти захтевају 55% већу количину електричне енергије у поређењу са стамбеним зградама [5].

Енергетска политика Србије се заснива на потреби да се обезбеди сигурно и редовно снабдевање енергетских потрошача адекватним енергентима, смањи увозна зависност, као и да се енергетски сектор учини одживим, односно да његов негативни утицај на животну средину буде што мањи. Како је рационалним односом према енергији могуће постићи значајне уштеде, енергетска ефикасност се промовише као „нови енергетски извор“, који може допринети задовољењу поменутих потреба. Према процени Министарства за рударство и енергетику, представљене кроз Трећи акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије, уз повећање енергетске ефикасности у јавном сектору се током 2018. године може остварити уштеда од 0,15814 Mtoe [6].

Енергетске потребе спортских објеката се не могу поредити са потребама осталих енергетских потрошача у јавном сектору, јер зависе од врсте спорта који се у њима одвијају. Поред тога, условљене су и дневним распоредом активности, годишњим добом, или присуством публике током спортских догађаја. Зграде затворених базена, поред саме базенске хале, садрже свлачионице, просторије за туширање, тоалете, продавнице и неретко ресторани. Како у овим зградама постоји потреба за принудном вентилацијом, претпоставља се да оне представљају два до три пута веће енергетске потрошаче у поређењу са канцеларијским простором исте површине [7].

Од укупних годишњих трошкова у јавним зградама у Крагујевцу, 8% се остварује у зградама спортских објеката [8].

2.0. Потрошња енергије и воде у затвореним пливачким базенима

2.1. Потрошња енергије и воде у затвореним пливачким базенима

Просечни затворени спорски објекат 38% испоручене енергије користи за загревање простора, 30% за рад пумпи и вентилатора, 30% за осветљење и мале електричне уређаје, 2% за загревање санитарне топле воде, при чему се напомиње да су затворени базени енергетски захтевнији од осталих поткатегија спортских објеката [9].

Просечна расподела трошкова за енергију у зградама затворених пливачких базена представљена је на Слици 1.



Слика 1. Расподела просечних трошкова за енергију у зградама пливачких базена [10]

Грејање простора је неопходно како би се постигла одговарајућа термичка угодност и препоручене вредности температура за различите просторије дате су у Табели 1.

Табела 1. Препоручене вредности температура за различите просторије у оквиру зграде затворених базена [11]

Просторија	Температура унутрашњег ваздуха
Базенска хала	24-30 °C (за 2 °C виша у односу на температуру воде)
Просторије за туширање	24-25 °C
Седишта за гледаоце	20-22 °C
Свлачионице	22-24 °C
Канцеларије	22-25 °C
Помоћне просторије	20 °C

Како се у објектима затворених базена одржава температура која је виша од температуре у већини конвенционалних зграда, топлотни губици могу да буду и до 50% већи од губитака који се јављају у зградама на истом локалитету [10]. Потрошња енергије у објектима овог типа зависи, како од карактеристика омотача зграде, тако и од временских услова локалитета на коме се зграда налази. Базна температура за прорачун броја степен дана се разликује у зависности од литературних извора и у [12] она износи 15,5 °C, док је у [13] 17 °C. У [14], се наводи да је базна температура од 26 °C релевантна за прорачун броја грејних степен дана за објекте затворених пливачких базена. Са друге стране, у Правилнику о енергетској ефикасности зграда [15] наведено је да је унутрашња пројектна температура за зимски и летњи период за зграде затворених пливачких базена 28 °C.

Температура базенске воде зависи од намене базена. За потребе тренинга и рекреације треба да износи 27-28 °C, а приликом пливачких такмичења треба да буде у границама 22-25 °C. Повећање температуре базенске воде за само 1 °C, може да резултира повећањем трошкова за 10-15% [7]. Препоручује се да температура санитарне топле воде буде 38-40 °C [11], уз напомену да једном недељно треба повисити температуру на 70 °C, ради бактерицидног дејства на бактерије рода *Legionella* [16].

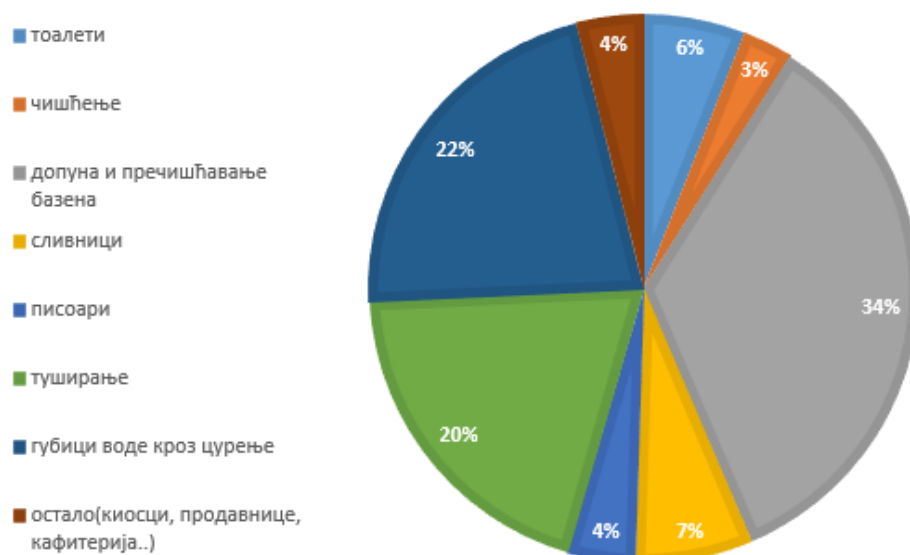
У затвореним пливачким базенима до губитака 70% енергије долази углавном услед испаравања воде, док се услед вентилације губи и до 27% [7]. Како би се влажност ваздуха одржавала на константној вредности, уобичајено је да систем вентилације омогућава до 4-10 замена ваздуха у једном часу, при чему прекомерна вентилација простора није препоручљива, јер резултира повећаним енергетским потребама за загревањем ваздуха [17]. Смањење испаравања воде је у директној спрези са редукцијом енергетских губитака и потрошњом воде.

Спортски објекти овог типа представљају велике потрошаче воде. Просечно, у великим базенским халама, највећи удео потрошње (45%) настаје као последица надокнаде базенске воде, док се за потребе туширања користи 25% испоручене количине воде [7].

До повећања потрошње долази услед присуства механичких нечистоћа, хемијске и биолошке неисправности, које настају као последица људских секреција, коришћења козметике и уношењем нечистоћа током употребе базена. Прикладна претпливачка хигијена превентивно утиче на загађење и смањује учесталост потребе за третманом воде. Напомиње се да трошкови потрошње нису одређени само ценом воде, већ и ценом енергије која је потребна за њено загревање, рад пумпи и филтера и ценом хемијских агенаса којима се обезбеђује исправан хемијски и биолошки третман.

Као пример добре праксе наводе се акватички центри у Сиднеју у којима је у периоду између 2005. и 2011. године остварена уштеда од 150.000.000 l воде.

На основу анализе спроведене у 10 пливачких центара, на Слици 2. представљена је њихова просечна расподела потрошње.



Слика 2. Просечна потрошња воде у затвореним пливачким базенима у Сиднеју [18]

У истом раду наводи се да се применом доброг управљања потрошњом воде може остварити уштеда од 33% у сваком затвореном пливачком базену.

2.2. Индикатори енергетске ефикасности за затворене пливачке базене

Индикатори енергетске ефикасности представљају специфичне енергетске показатеље који се користе како би се одредила могућност уштеде потрошње енергије, као и за утврђивање учинка спровођења мера енергетске ефикасности. За описивање енергетских перформанси затворених пливачких базена у већини радова користе се укупна потрошња финалне енергије по јединици површине простора (енг. Useful Area (UA)), или по јединици површине воденог огледала (енг. Water surface (WS)) [13]. Према пројекту Step2Sport [14], у оквиру кога су анализирани пилот спортски објекти у више европских земаља, као индикатори енергетске ефикасности, поред наведених, спомињу се и потрошња финалне енергије по јединици укупне површине, грејаног/хлађеног простора, као и по јединици запремине базена.

Још један битан индикатор односи се на потрошњу финалне енергије и воде по посетиоцу базена [19]. У [20] се напомиње да због честе забуне у значењу термина, аутори радова морају јасно да дефинишу коришћене индикаторе, као и разлог њихове употребе.

У раду у коме је анализирана зависност потрошње од параметара који се најчешће користе у литератури, утврђена је највећа корелација у потрошњи воде и броја посетилаца. Приликом анализе потрошње финалне енергије предлаже се дефинисање потрошње по јединичној површини воденог огледала, при чему се напомиње да је при коришћењу овог индикатора потребно поредити објекте исте спортске понуде [13].

Просечна потрошња енергије у базенским халама које се налазе под утицајем медитеранске климе је 4.300 kWh/m^2 површине воденог огледала, док се у базенима

који су у континентално-европској климатској зони троши 5.200 kWh/m^2 . Специфична потрошња у овој зони, у зависности од типа базенског објекта, је између $600\text{--}6.000 \text{ kWh/m}^2$ површине објекта [11].

За пример добре праксе енергетски ефикасних зграда са базеном наводе се објекти код којих је потрошња по јединичној површини објекта мања од 510 kWh/m^2 , док се зграде у којима се бележи потрошња већа од 745 kWh/m^2 сматрају енергетски неефикасним [7].

У раду у коме је анализирана потрошња енергије у пилот спортским објектима [14], на основу укупног узорка је наведено да се у затвореним базенима највише енергије троши за рад HVAC система (36-60% укупно испоручене енергије). За рад пумпних постројења потроши се 2,2-27% енергије, за освету 3-13%, загревање санитарне топле воде 7-40%, за рад осталих електричних уређаја 3-10 %, док се за потребе загревања базенске воде потроши 28-50% укупно испоручене енергије. Разлика у процентима у потрошњи енергије за наведене системе, за сваки од објеката, узрокована је укупном површином пода, бројем пливачких базена у објекту, радним временом базена, карактеристикама самих зграда, и ефикасношћу опреме која се у њима користи. У раду је приказана анализа једног базенског објекта у Италији, три у Португалу, три у Пољској, једног у Шпанији и два у Бугарској. Просечна годишња потрошња анализираних базена у Шпанији, по јединици површине корисног простора износи 1.089 kWh/m^2 и ово постројење представља највећег енергетског потрошача обухваћеног овим радом. У пилот постројењима у Пољској потроши се просечно 899 kWh/m^2 , 805 kWh/m^2 и 516 kWh/m^2 . За рад посматраних базенских хала у Португалу годишње је потребно обезбедити 609 kWh/m^2 , 507 kWh/m^2 , и 419 kWh/m^2 , у Бугарској 534 kWh/m^2 и 430 kWh/m^2 , док базен у Италији бележи најмању потрошњу од само 213 kWh/m^2 корисне површине објекта. У свим постројењима бележи се значајна потрошња топлотне у односу на електричну енергију, што се може објаснити великим топлотним захтевима за загревање базенске воде. У истом раду представљена је и потрошња енергије у спортско-рекреативним центрима у којима се, поред затворених пливачких базена, налазе и други типови спортских објеката, попут спортских, или гимнастичарских хала. Анализирана је потрошња у четири спортска центра у Шпанији и једног центра у Шведској. Просечна потрошња поменутих објеката у Шпанији по јединици површине корисног простора износи $380,25 \text{ kWh/m}^2$. У спортском комплексу у Шведској бележи се потрошња од 501 kWh/m^2 . У раду је приказана зависност потрошње енергије по јединичној површини воденог огледала од броја грејних степен дана, како за зграде затворених пливачких базена, тако и за спортске комплексе и увиђа се да са повећањем грејних дана расте и потрошња енергије, што је посебно изражено у одређеним објектима у земљама са оштријом климом, попут Пољске и Шведске.

Према подацима енергетске анализе зграде базена са сауном у Хелсинкију [21], 11% испоручене електричне енергије користи се за рад освете, 27% за рад система вентилације, 30% за рад пумпи, 31% за рад пећи у саунама, 2% енергије за свој рад користе остали уређаји. На годишњем нивоу, за рад поменутих електричних уређаја, потребно је обезбедити укупно 240 kWh/m^2 укупне површине зграде електричне енергије, односно 1.691 kWh/m^2 воденог огледала. За постизање одговарајућег термичког комфора, на годишњем нивоу је потребно обезбедити 396 kWh/m^2 укупне површине зграде топлотне енергије, односно 2.784 kWh/m^2 водене површине. Укупна потрошња енергије по јединици укупне површине зграде износи 636 kWh , односно 4.475 kWh/m^2 водене површине.

Резултати енергетског билансирања за затворене базене у Лесковцу, Србија, приказани су у [19], где се наводи да се у овом објекту по јединици површине воденог огледала, на годишњем нивоу, утроши 2.089 kWh/m^2 топлотне енергије, односно 539 kWh/m^2 електричне енергије.

W. Kampel et al. су испитивали потрошњу 27 базена у Норвешкој и добијене резултате су упоређивали са потрошњом базена у Данској [22]. У раду је приказано да су базени са најмањом воденом површином (мањом од 300 m^2) највећи потрошачи финалне енергије, са просечном потрошњом од 4.419 kWh/m^2 . У базенима са површином воденог огледала између $301\text{-}600 \text{ m}^2$ забележена је потрошња од 3.608 kWh/m^2 , док је у објектима са површином базена већом од 601 m^2 установљена потрошња од 4.303 kWh/m^2 . Базени у Данској, величине до 300 m^2 троше 3.611 kWh/m^2 , за базене друге категорије у просеку је потребно 2.847 kWh/m^2 , док је за рад базенских хала са површином воденог огледала већом од 601 m^2 потребно 2.276 kWh/m^2 финалне енергије. У истом раду је представљен компаративни приказ потрошње базенских објеката у Норвешкој у зависности од године изградње, при чему се увиђа да се енергетски најисплативији базени саграђени у периоду од 1990-2000. године, са просечном годишњом потрошњом енергије од 3.288 kWh/m^2 . Базенске хале саграђене након 2000. године имају знатно већу потрошњу (4.285 kWh/m^2), што се објашњава њиховом величином, новом понудом активности и новом опремом, за чији је рад потребна знатна количина енергије.

Просечна годишња потрошња финалне енергије по јединичној површини корисног простора у базенским халама у Шведској је $403,4 \text{ kWh}$, Грчкој $450,1 \text{ kWh/m}^2$, док у Великој Британији базенске хале са добром енергетском праксом потроше 725 kWh/m^2 , док се у просечним базенским зградама потроши 1.573 kWh/m^2 [13]. У истом раду је цитиран податак по коме је за рад базена у Ослу, по јединичној површини корисног простора просечно потребно 515 kWh/m^2 .

Приликом спровођења енергетског билансирање спортско-рекреативног центра који се састоји од пливачког базена, ђакузија, женске и мушке парне собе са сауном, сале за аеробик и кардио-фитнес центра, утврђено је да је током 2015. године утрошено $1.861.033 \text{ kWh}$ енергије, од чега 63% топлотне енергије добијене сагоревањем гаса и 37% електричне енергије [12]. Уколико се у обзир узме површина објекта од 2.787 m^2 , може се рећи да су енергетске потребе овог објекта $667,755 \text{ kWh/m}^2$.

Студија случаја у којој је анализиран објекат затворених базена у Немачкој (Lünen), приказује да је потреба за топлотном енергијом 258 kWh/m^2 површине објекта, односно 258 kWh/m^2 површине воденог огледала. За функционисање електричних уређаја, потребно је обезбедити 156 kWh/m^2 по јединичној површини објекта електричне енергије, односно 718 kWh/m^2 површине воденог огледала [23].

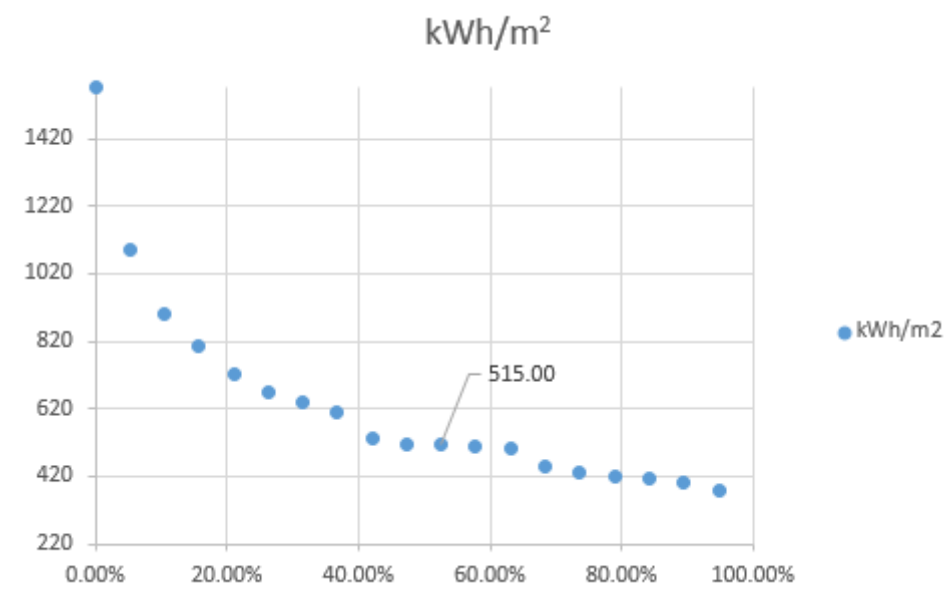
Када се говори о потрошњи топлотне енергије по посетиоцу у [11] се наводи да је на годишњем нивоу, у просечном базену, потребно обезбедити између $0,7\text{-}1,4 \text{ kWh/кориснику}$.

На основу доступних података, у Табели 2. приказана је специфична потрошња енергије по јединичној површини објекта и воденог огледала у зградама затворених пливачких базена.

Табела 2. Приказ специфичне потрошње енергије (CE) у зградама затворених пливачких базена

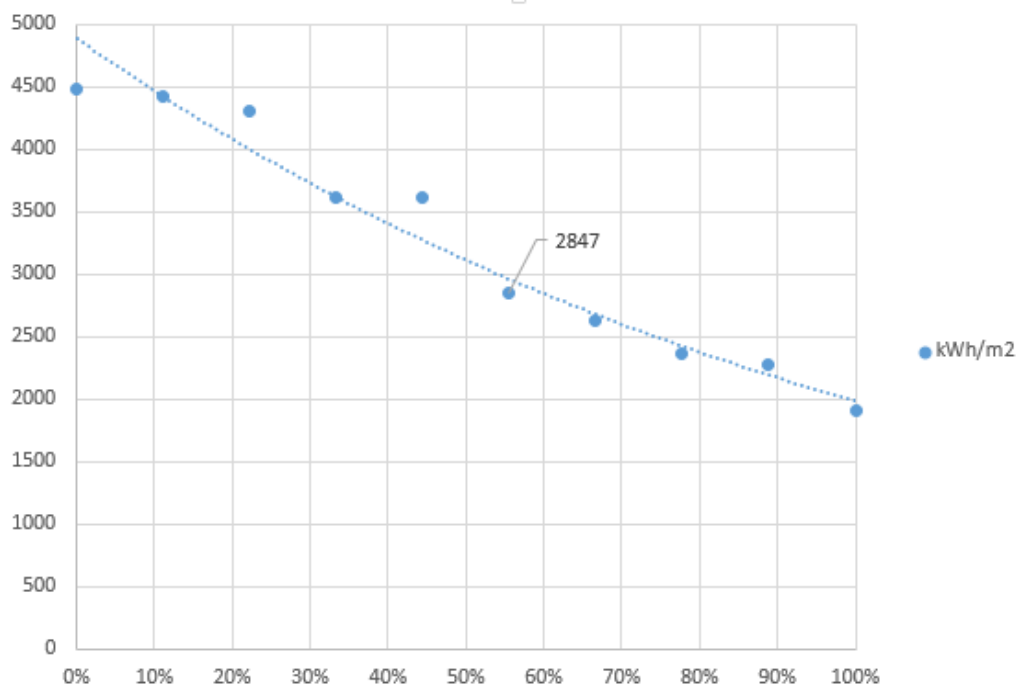
	CE (kWh/m ²) површине објекта	CE (kWh/m ²) површине воденог огледала
Шпанија	1.089	
Пољска (базен 1.)	899	
Пољска (базен 2.)	805	
Пољска (базен 3.)	516	
Португал (базен 1.)	507	
Португал (базен 2.)	419	
Португал (базен 3.)	609	
Бугарска (базен 1.)	534	
Бугарска (базен 2.)	430	
Италија	213	
Шпанија (спортски центар)	380,25	
Шведска (спортски центар)	501	
Финска (Хелсинки (затворени базени са сауном))	639	4.475
Србија (Лесковац)		2.628
Норвешка (<300 m ² воденог огледала)		4.419
Норвешка (301-600 m ² воденог огледала)		3.608
Норвешка (>601 m ² воденог огледала)		4.303
Данска (<300 m ² воденог огледала)		3.611
Данска (301-600 m ² воденог огледала)		2.847
Данска (>601 m ² воденог огледала)		2.276
Шведска (просечна потрошња)	403,4	
Грчка (просечна потрошња)	450,1	
Велика Британија (пример добре праксе)	725	
Велика Британија (просечна потрошња)	1.573	
Норвешка (Осло)	515	
Спортско-рекреативни центар са ђакузијем, парним собама, салом за аеробик и кардио-фитнес центром	667.755	
Немачка (Lünen)	414	1907

Удеоно учешће у потрошњи финалних облика енергије по јединици површине поменутих базена представљено на Слици 3. Може се приметити да више од 50% анализираних базена остварује потрошњу већу од 515 kWh/m².



Слика 3. Удеоно учешће у потрошњи енергије по јединици површине анализираних базенских објеката

Удеоно учешће у потрошњи финалних облика енергије по јединици површине поменутих базена представљено на Слици 4. Може се приметити да више од 50% анализираних базена остварује потрошњу већу од 2.847 kWh/m².



Слика 4. Удеоно учешће у потрошњи енергије по јединици водене површине анализираних базенских објеката

На основу података представљеним у [11], претпоставља се да је просечна годишња употреба воде у већини базена око 3.100 m^3 . Потрошња воде у базенима зависи од броја посетилаца и примери добре праксе представљени су у Табели 3.

Табела 3. Потрошња воде у затвореним базенима [7]

Број посетиоца	Потрошња
0-500	60 l/посетиоцу дневно
>500	40 l/посетиоцу дневно

У [13] наводи се да се ефикасним базенима сматрају базени у којима је укупна потрошња воде мања од 107 l/кориснику, док се у [18] наводи да су ефикасни базени они у којима се потроши 70 l/кориснику, уз напомену да се ова вредност може смањити на 40 l/кориснику. У раду у коме су анализиране стратегије енергетског очувања у зградама затворених пливачких базена се наводи да је за потребе туширања просечно потребно обезбедити $0,04 \text{ m}^3$ воде [11].

3.0. Мере за уштеду енергије и воде у зградама затворених пливачких базена

Систематизацијом и критичком анализом литературних података ([7], [10-11], [14], [18], [20], [24-26]) приказане су мере, чија примена може довести до значајних уштеда топлотне енергије, електричне енергије и воде у објектима затворених пливачких базена (Табела 4.).

Табела 4. Предложене мере уштеде

Предложена мера	Потребан ново анализе
Топлотна енергија	
Употреба отпадне топлоте из система за грејање, вентилацију и климатизацију	Детаљно снимање
Употреба отпадне топлоте генерисане испирањем филтера	Детаљно снимање
Рекуперација топлоте санитарне топле воде	Детаљно снимање
Побољшање изолације спољних зидова	Детаљно снимање
Повећање сенке на застакљеним површинама лети	Прелиминарно снимање
Повећање природне вентилације	Прелиминарно снимање
Загревање воде употребом соларних панела	Детаљно снимање
Чишћење, одржавање и калибрисање система за размену топлоте	Прелиминарно снимање
Уградња когенерационих постројења	Детаљно снимање
Уградња кондензационих котлова	Прелиминарно снимање
Замена дотрајалих компоненти система грејања	Прелиминарно снимање
Уградња термостатских вентила	Прелиминарно снимање
Уградња сопствене котларнице	Детаљно снимање

Електрична енергија

Употреба фотонапонских ћелија за потребе осветљења	Детаљно снимање
Употреба ефикаснијих базенских пумпи	Детаљно снимање
Уградња високо ефикасне расвете	Прелиминарно снимање
Уградња кондензатора за компензацију реактивне снаге	Детаљно снимање
Замена аналогних струјомера дигиталним	Прелиминарно снимање

Вода

Употреба прекривача за базене	Прелиминарно снимање
Аутоматска контрола квалитета воде	Детаљно снимање
Регулација температуре ваздуха у зависности од температуре базенске воде	Детаљно снимање
Уочавање и санирање цурења	Детаљно снимање
Уградња ефикаснијих славина	Прелиминарно снимање
Уградња ефикаснијих глава тушева	Прелиминарно снимање
Наплата туширања	Детаљно снимање
Уградња двоколичинских водокотлића	Прелиминарно снимање
Поновна употреба воде и изградња резервоара	Детаљно снимање

3.1. Мере за уштеду топлотне енергије

Карактеристике најефикаснијих спортских објеката у Норвешкој приказане су у [24]. При анализи, забележена је употреба рекуперираних отпадних топлота за догревања ваздуха, базенске и санитарне воде. У једном од објеката, за ове сврхе користи се отпадна топлота генерисана испирањем филтера. У раду је представљена могућност поновног коришћења отпадних топлота, употребом топлотних пумпи приликом

задржавања отпадне санитарне воде, али и отпадне топлоте система за грејање, климатизацију и вентилацију.

У базенима, због велике водене површине, мали архитектонски подухвати, попут побољшања изолације спољашњих зидова, повећања сенке на застакљеним елементима током лета, или повећања природне вентилације, могу довести до значајног смањења енергије потребне за грејање и хлађење објекта (до 45%) [11].

Пример спортског центра који је у потпуности опремљен обновљивим изворима енергије приказан је у [25]. У овом објекту загревање воде врши се применом соларних панела и поред остварене уштеде истиче се и смањење емисије угљен-диоксида (CO_2) у атмосферу. У приручнику за добру праксу енергетске ефикасности у зградама затворених базена [10] наводи се да су најчешће мере које се спроводе за смањење потрошње увођење когенеративних постројења, као и кондензационих котлова. Поред тога, истиче се важност чишћења, одржавања и редовног калибрисања система за размену топлоте. У [14] табеларно су приказане мере уштеде, које, поред поменутих, укључују замену дотрајалих компоненти грејања и постављање термостатских вентила, као и употребу геотермалне топлотне пумпе. Препоручује се такође употреба биомасе, или уградња сопствене котларнице, уколико је спортски објекат не поседује.

3.2. Мере за уштеду електричне енергије

Могућност употребе фото-напонских ћелија за потребе осветљења приказана је у [25]. Заменом расвете високо-ефикасном може уштедети и до 50% и велики потенцијал уштеде лежи и у коришћењу кондензатора за компензацију реактивне снаге [10]. Поред поменутих предлога уштеде предлаже се и замена аналогних склопки дигиталним [14]. У истом раду као мера уштеде електричне енергије наводи се уградња програмираног гашења светла ноћу. Сматра се да велики потенцијал уштеде електричне енергије лежи у примени енергетски ефикасних пумпних постројења. Напомиње се да испирање филтера током радних сати може довести до повећања вршног оптерећења електричне енергије (стварања тзв. „пикова“), те се не препоручује, иако је ово најчешће примењивани метод. Уколико се у објектима користе електрични котлови и бојлери један од начина уштеде представља уградњу топлотних пумпи [26].

3.3. Мере за уштеду воде

Веза између остваривања уштеде у потрошњи воде и енергије, са посебним освртом на енергију потребну за загревање базена, рад базенске технике и система за употребу и производњу санитарне топле воде истакнута је у [18]. Најлакши начин за постизање уштеде заснива се на уочавању и санирању цурења, као и смањењу процеса испаравања. Смањењем испаравања може се смањити употреба воде за надокнаду (30-50%), енергије (50-70%), као и употреба хемикалије за третман вода (35-60%) [7]. Ради смањења испаравања предлаже се да температура ваздуха у базенској хали буде за 1-2 °C више од температуре базенске воде. Осим тога, предлаже се употреба покривача воде када се базен не користи [20]. У енергетски најефикаснијим објектима затворених пливачких базена у Норвешкој примењује се аутоматска контрола квалитета воде, са аутоматском регулацијом параметара.

Мера којом може да се постигне запажена уштеда у потрошњи воде односи се на замену славина ефикаснијим, са смањеним протоком, као и примена славина са временским затварањем. Процењени удео туширања у потрошњи воде је 57% па се предлаже примена ефикаснијих глава тушева са протоком до 9 l, као и употреба једноручне славине са аутоматским временским затварањем. Верује се да мера увођења наплате туширања може резултирати смањењем у потрошњи. Проблем ове идеје огледа се у томе што би корисници базена избегавали претпливачко туширање, које представља веома битан корак у уштеди енергије, те се предлаже уградња додатних тушева на којима купачи могу да се бесплатно туширају пре уласка у базене. Битна мера у постизању уштеде воде односи се на употребу ефикасних водокотлића, са двоколичинском техником испирања, као и сензорско пуштање воде на писоарима. Заменом само једног водокотилћа запремине 11 l, двоколичинским запремине 4,5/3 l, може се остварити уштеда од 140.000 l воде на годишњем нивоу. У приручнику се наводи да се знатне уштеде могу остварити поновном употребом воде и изградњом резервоара [18].

4.0. Енергетско билансирање затворених пливачких базена у Крагујевцу

Затворени пливачки базени у Крагујевцу, саграђени 2011. године, део су спортско-рекреативног комплекса. Укупна површина објекта је 5.675 m^2 . У склопу објекта налазе се три нивоа: подрум, приземље и спрат. Подрум је подељен на део у коме се налази просторија за фитнес и рекреативне спортове и део у коме је смештена техничка опрема: клима комора, уређаји базенске технике, постројење за хемијски третман воде, уређаји за повишење притиска у хидрантској мрежи, просторије за електроенергетско напајање.

На нивоу приземља налазе се свлачионице, гардеробе, санитарни чворови, тушеви, просторије за амбуланту, судије и тренере, простор базена и трибине са смештајним капацитетом 360-390 седишта. Површина базена је 1.250 m^2 (50x25 m).

На нивоу спрата налазе се кафић, продавница, новинарска ложа, командна соба за телевизијску технику и овај ниво је углавном намењен гледаоцима и рекреативцима.

Радним данима, базени су отворени од шест часова до поноћи, док се викендом време отварања помера за сат времена. Током радних сати, базен је доступан грађанству, али и организованим тренинзима пливачких и ватерполо клубова. У току радног дана базен посети око 60 рекреативаца, викендом око 80, док је приближан број пливача који свакодневно посећују базене 40. Процењује се да пливачки клуб „Раднички“, који за потребе тренирања својих чланова користи просторије базена, укупно броји 300 чланова. Простор базена користи и 150 чланова школе пливања „Ајкула“. Дневно базен посети приближно 300 посетилаца. Грађани могу користити погодности базена 365 дана годишње.

Објекат затворених базена је прикључен на градску водоводну, канализациону и електричну мрежу. Објекат припада категорији купаца електричне енергије на ниском напону са двотарифним мерењем.

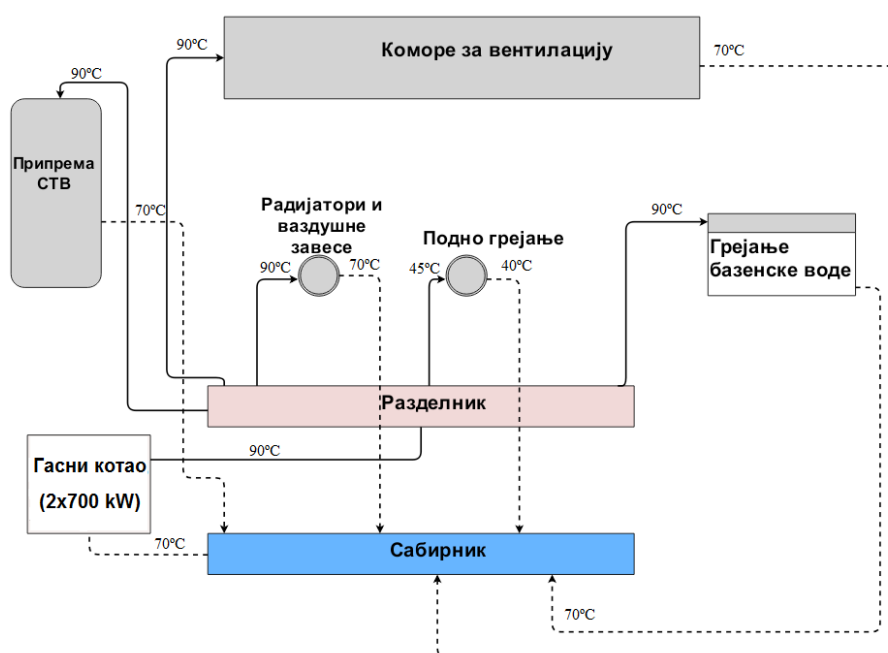
4.1. Опис техничких постројења

Техничко постројење описано је на основу пројектне документације изведеног објекта ([27], [28]), тренутног стања постројења, разговора са запосленим лицима и упитника о енергетској ефикасности. Упитник (Прилог 1.) је састављен по узору на контролне листе приказане у [29].

4.1.1. Систем за генерисање топлотне енергије

Систем којим се генерише и разводи топлотна енергија је централног типа. За ову намену, користе се два котла снаге по 700 kW, који као енергент користе природни гас. За сагоревање природног гаса користи се горионик произвођача WEISHAUPТ, тип WM G10/4A monarch. Котлови су подешени за каскадни рад са сменом на 100 h. Када потреба за топлотном енергијом захтева истовремено ангажовање оба котла, први ради са максималним оптерећењем, док је оптерећење другог 75%. Одржавање константног

притиска ($p=1,8 \text{ bar}$) током рада котлова постиже се применом диктир система. Пројектна излазна температура воде, носиоца топлотне енергије, је 90°C , док је њена температура у повратном кругу 70°C . Ради избегавања појаве кондензације димних гасова, температура воде не сме бити нижа од 65°C . Загрејана вода, преко хидрауличне скретнице, одлази до разделника, одакле се грана за потребе загревања санитарне топле воде, загревање просторија и базенске воде, као и за вентилационе базенске коморе. Упрошћена шема постројења приказана је на Слици 5.



Слика 5. Упрошћена шема топловодног система затворених пливачких базена у Крагујевцу

4.1.2. Систем грејања

Систем грејања изведен је употребом подног и радијаторског грејања, као и применом ваздушних завеса. Радијаторско грејање је разведено у канцеларијском простору, где трансмисиони губици не могу да се надокнаде инсталацијом подног грејања. Панелни радијатори са ручном регулацијом су распоређени испод прозора, или поред зида.

На улазним вратима инсталиране су топлотне ваздушне завесе, које се напајају топлем водом из цевовода радијаторског грејања. Димензија ваздушних завеса одговара димензијама врата. Циркулација воде у системима радијаторског грејања и ваздушних завеса обезбеђена је употребом циркулационе пуме Wilo TOP 40/15. У систему се налазе две пумпе, од којих је једна ангажована, а друга резервна.

Подним грејањем загревају се ходници, просторије анекса, базена, плажа и галерија. Развод подног грејања изведен је од ормарића који се налазе поред фасадног зида базена, или су уграђени у преградне зидове анекса. Изоловани челични цевоводи топле воде су од подстанице до ормарића разведени испод пода базенске плаже и

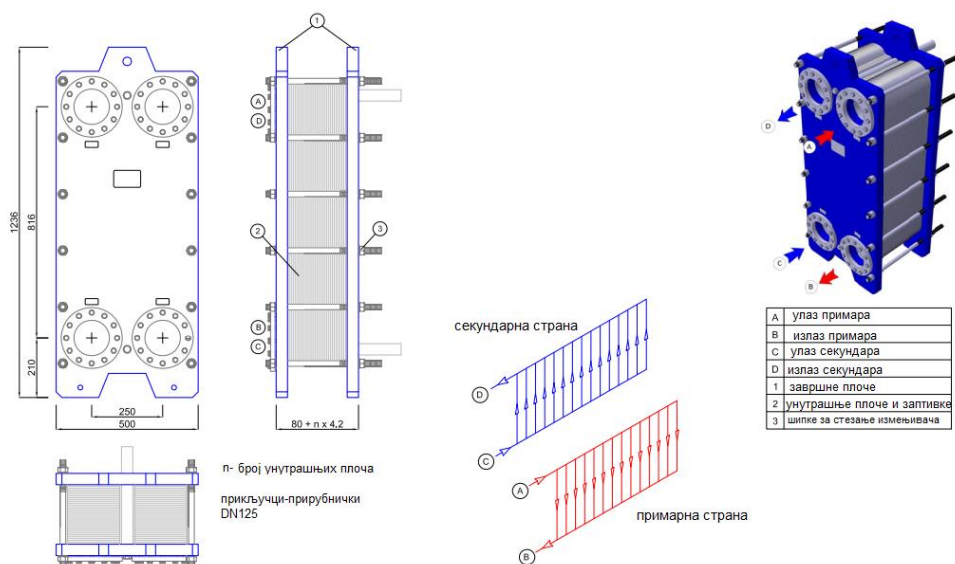
пројектована температура доведене воде је 45 °C. Циркулација воде у систему обезбеђена је циркулационим пумпама Wilo TOP 40/15. Временом је дошло до отказивања приближно 10 m² подне змије, као и до видног оштећења два панелна радијатора.

Грејање се аутоматски регулише на основу температуре спољашњег ваздуха и температуре воде у грејном кругу.

Током сезоне грејања потребне су детаљније анализе за утврђивање унутрашње температуре, чија се вредност у просторијама зграде базена не мери.

4.1.3. Систем за загревање базенске воде

Базенска вода загрева се применом сетова са разделником, циркулационим пумпама снаге 960 W и преко два плочаста измењивача топлоте, типа вода-вода, снаге по 200 kW. Технички цртеж измењивача топлоте Euro heat S270, приказан је на Слици 6.



Слика 6. Технички цртеж измењивача топлоте Euro heat s270 [30]

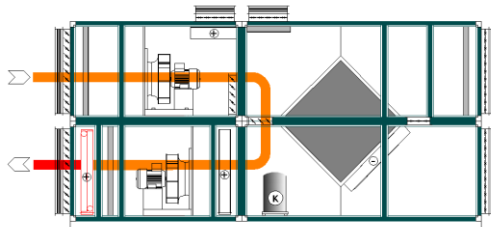
Пројектована температура примара у измењивачима је 90/70 °C, док је пројектована температура секундар 25/30 °C. У систему се применом аутоматске регулације, постиже одговарајућа вредност температуре базенске воде од 27 °C.

4.1.4. Систем климатизације

Према пројектној документацији, за вентилацију, климатизацију и одvlaживање базенског простора користи се клима комора произвођача Termovent-Beograd, тип ТК-

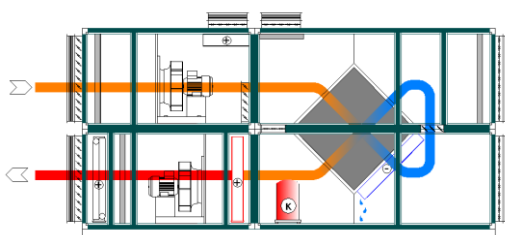
К4.24-21.21. У зависности од спољашњих услова и потребе, комора има шест режима рада [31]:

1. Почетни режим за брзо загревање у зимском периоду, током кога се загрејани ваздух у базенски простор убацује вентилатором преко рециркулационог дампера, филтера и топоводног грејача (Слика 7.).



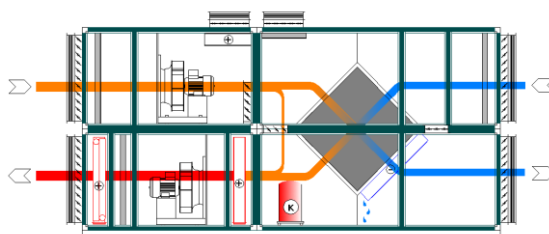
Слика 7. Режим рада клима коморе током кога се базенски ваздух брзо загрева у зимском периоду [31]

2. Режим одвлаживања у зимском периоду када нема купача, приказан на Слици 8., је економичан режим са 100% рециркулационим ваздухом. Током овог процеса, влага из ваздуха се уклања на испаривачу топлотне пумпе. Ваздух одвлажен на овај начин се затим загрева на кондензатору и убацује у базенски простор.



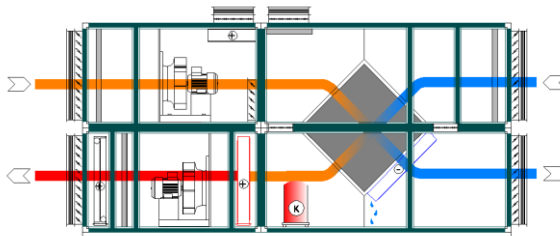
Слика 8. Режим рада клима коморе у зимском периоду без купача [31]

3. Током режима одвлаживања у зимском периоду са купачима, велика количина ваздуха се убацује преко плочастог рекуператора топлоте, а одређена количина ваздуха се убацује преко рециркулационог дампера. Рекуперирана топлота садржана у свежем ваздуху се преко испаривача враћа на кондензатор. Пре убацивања у базенски простор, припремљен ваздух се догрева преко топоводног грејача (Слика 9.)



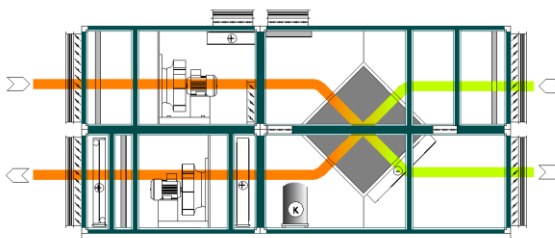
Слика 9. Режим рада клима коморе у зимском периоду са купачима [31]

4. Режим одvlaживања у прелазном периоду, одвија се убацивањем 100% свежег ваздуха, при чему базенски ваздух предаје топлотну енергију свежем ваздуху преко плочастог рекуператора топлоте. Енергија се затим предаје испаривачу топлотне пумпе и након предаје кондензатору убацује се у базенски простор (Слика 10.)



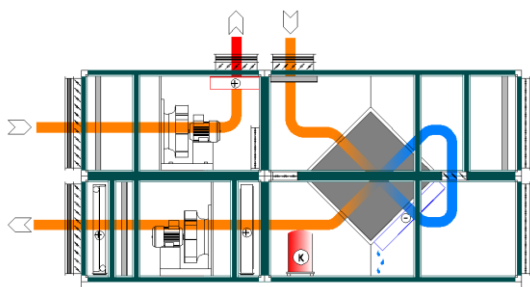
Слика 10. Режим рада клима коморе, током прелазног периода [31]

5. Режим одvlaживања код виших спољних температура, приказан је на Слици 11. Карактеристика овог режима огледа се у искљученом топлотном грејачу и употреби само топлотне енергије базенског простора, која се свежем ваздуху предаје преко плочастог рекуператора топлоте.



Слика 11. Режим рада клима коморе током виших спољних температура [31]

6. Режим одvlaживања код виших спољних температура и повишене влажности ваздуха, заснива се на убацивању 100% свежег ваздуха. Ваздух се суши приликом проласка кроз испаривач топлотне пумпе. Одvlaжени ваздух се загрева на кондензатору, након чега се убацује у базенски простор. Отпадни ваздух, који настаје овим процесом, вишак топлотне енергије предаје кондензатору, чија је намена загревање базенске воде (Слика 12).



Слика 12. Режим рада клима коморе код виших температура и повишене влажности ваздуха [31]

Ради смањења процеса замагљивања, ваздух се преко канала подних дифузора у простор базена убацује поред стаклених површина. Из базенске хале, ваздух се одсисава применом одсисних решетки и канала постављеног изнад базена, до коморе у којој се суши и загрева ваздух. Предвиђена количина свежег ваздуха у базенском простору по посетиоцу је од $25 \text{ m}^3/\text{h}$, а у канцеларијама $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

Временом је дошло до отказивања компресора, те се комора користи само за процес вентилације и одvlaживања ваздуха.

Према пројектној документацији, фитнес сала се климатизује применом клима сплит система LG UB 48 Inverter и вентилатора MIXVENT TD, док се за вентилацију санитарног чвора и свлачионица користи вентилатор MIXVENT TD. За надокнаду ваздуха у овим просторијама користи се грејно-вентилациона комора произвођача Termovent тип ТК-K05.

У просторијама са хемикалијама предвиђено је пет измена ваздуха употребом вентилатора капацитета $1300 \text{ m}^3/\text{h}$. У просторијама за анализу предвиђено је 8 измена ваздуха применом вентилатора чији је капацитети $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.1.5. Припрема санитарне топле воде

За потребе туширања купача, санитарна вода се загрева у два акумулациона бојлера запремине по 500 l. Санитарна вода се у бојлерима загрева преко топлотног измењивача типа вода-вода. Вода, као носилац топлоте, загрева се сагоревањем природног гаса у централној котларници и преко система са разделником и применом пумпе Wilo TOP S40/7, доспева до измењивача. Пројектована температура испоручене воде је 60°C . У случају да температура воде у бојлеру буде већа од пројектоване, сигурносни гранични термостат шаље сигнал пумпи за довод топле воде, која се искључује и затвара се вентил грејача бојлера. Ток воде од бојлера према потрошачима омогућен је пумпама Wilo TOP Z30/7 RG. Поменуте пумпе ангазоване су 24 часова дневно, што доводи до повећања притиска у систему када у просторијама базена нема купача. Овим се узрокују чести откази графитних лежајева, као и самих пумпи, због чега се тренутно користи само један од бојлера. Применом аутоматске регулације, у систему се одржава вредност температуре воде од 40°C , чиме се постижу значајне уштеде, али се предлаже недељна термичка дезинфекција воде.

4.1.6. Систем за филтрацију воде

Базенска вода се механички пречишћава употребом пешчаних филтера. Према пројектној документацији, предвиђена је употреба четири мембранска филтера. Један од филтера ангажован је током целе године, док остала три раде сменски, ради постизања задовољавајућег квалитета базенске воде. Временом је дошло до отказа два филтера, који су замењени латералним са непознатим карактеристикама, те је потребно спровођење детаљније анализе. У филтарском постројењу базенска вода циркулише применом центрифугалних пумпи протока $190 \text{ m}^3/\text{h}$. Услед хемијског третмана воде и материјала радног кола који није предвиђен за дејство коришћених хемикалија, током рада пумпи долази до значајних и честих оштећења радног кола. Пумпе покрећу

електромотори, код којих су намотаји повезани у "звезду", без могућности промене начина везивања. Овим начином везивања, мотор не може да достигне своју максималну снагу, па се сматра енергетски неефикасним.

Отпадну воду, насталу испирањем филтера, преузима комунално предузеће "Чистоћа" за потребе испирања и одржавања улица града Крагујевца.

4.1.7. Хемијски третман воде

Биолошки и хемијски квалитет воде постиже се применом аутоматске регулације параметара. Хемијски третман воде укључује рад DEPOLOX PCS система за аутоматско праћење рН вредности воде, температуре, концентрације хлора, као и редукиционог потенцијала. рН вредности воде одржава се у границама од 7-7,7 применом сумпорне киселине и неутрализатора. Сnižена вредност овог параметра доводи до стварања киселе средине и може да оштети металне делове у базену, док повећана вредност непријатно утиче на пливаче и може да доведе до иритације очију и нелагодног осећаја на кожи. Концентрације хлора налазе у границама од 0,3-0,4 mg/l и тиме се омогућава бактериолошка дезинфекција воде. Применом алгицида сузбија се размножавање алги, док се бистрина воде остварује применом флокуланта. Постројење за третман воде раније је било опремљено и апаратом за електролизу, чија је улога значајна у повећању ефикасности третмана. Временом дошло до отказивања уређаја, те се он више не примењује. Рад постројења за хемијски третман воде омогућен је применом пумпи, чија је намена и снага пописана у Табели 5.

Табела 5. Попис пумпи у систему за хемијски третман воде

Намена	Снага [kW]
Пумпа за узорковање	0,6
Дозирна пумпа за флокулант 1	0,6
Дозирна пумпа за флокулант 2	0,6
Дозирна пумпа за флокулант 3	0,6
Дозирна пумпа за флокулант 4	0,6
Дозирна пумпа за алгицид	0,6
Дозирна пумпа за неутрализацију	0,6
Дозирна пумпа за одржавање рН вредности	0,6
Дозирна пумпа за хлор	0,6
Укупна снага пумпи	5,4

4.1.8. Расвета

У свим просторијама зграде затвореног пливачког базена предвиђено је извођење електричног осветљења, употребом надградних светиљки. На основу фотометријског прорачуна, намене и облика просторије одређен је тип и број светиљки (Прилог 2.). У већини просторија расвета се укључује ручно, применом прекидача постављених у зидовима, док се у малом броју просторија расвета укључује на прекидачима који су монтирани на вратима локалних разводних ормана. У просторијама где борави више људи, као и на путевима за евакуацију изведено је противпанично осветљење, применом светиљки снаге 8 W, које осветљава евакуациони пут. Простор базена осветљава се применом 84 рефлектора са метал халидним светлосним изворима, снаге 400 W, произвођача Philips, модела OptiFlood MVO506 HPI-TP400W K 230V A ST. У зависности од потребног нивоа осветљења, систем паљења рефлектора је прилагођен тренинзима (200 lx), такмичењима нижег (300 lx) и вишег ранга (500 lx), као и телевизијским снимањима (1.000 lx). Радом рефлектора се управља из командне собе на нивоу спрата, преко разводног ормана.

Приликом прекида у снабдевању електричном енергијом, расвета простора у коме борави више људи може да се снабдева из дизел агрегата (25-30% целокупног осветљења).

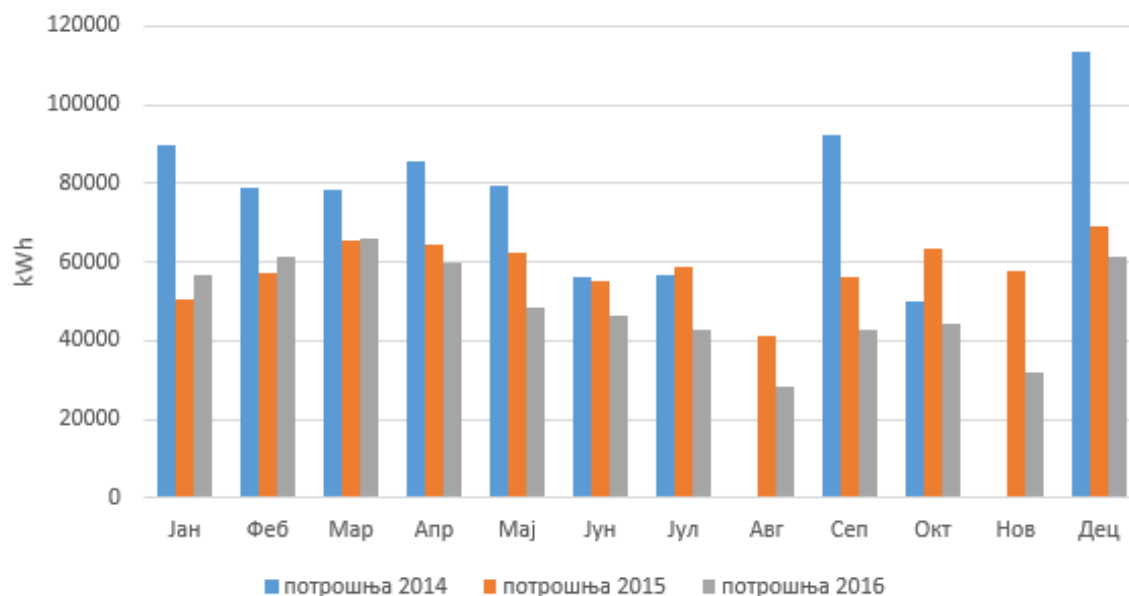
4.2. Потрошња енергије и воде и индикатори специфичне потрошње

За прорачун просечне годишње потрошње енергије и воде и рачунање показатеља (индикатора) специфичне потрошње, коришћени су подаци прикупљени приликом израде „Енергетског програма града Крагујевца“ [8].

4.2.1. Потрошња електричне енергије и индикатори потрошње

Електрична енергија се користи за расвету, погон пумпи, вентилатора и за рад осталих електричних уређаја. На основу рачуна за период од 2014-2016. године, може се рећи да је на годишњем нивоу просечно потребно обезбедити 691.533,33 kWh електричне енергије.

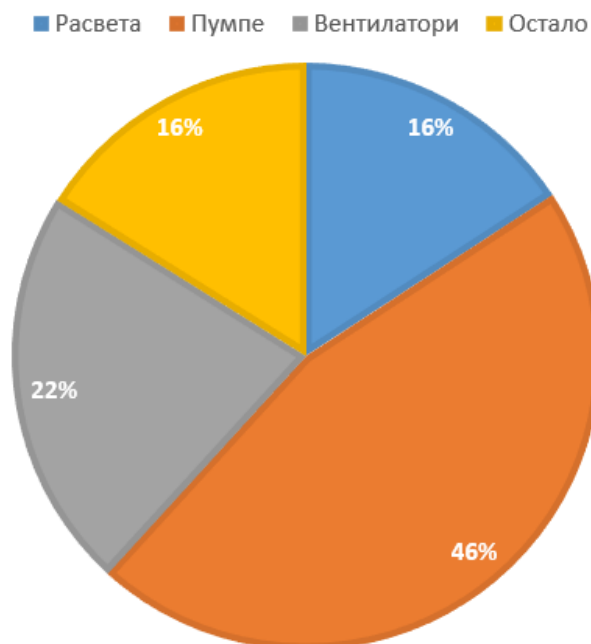
На Слици 13. приказана је варијација месечне потрошње електричне енергије за период од 2014.-2016. године. Примећује се да током 2014. године није редовно читавана потрошња. Минимум потрошње забележен је током месеца августа, што је последица редовног сезонског одржавања базена.



Слика 13. Месечна потрошња електричне енергије за период од 2014.-2016. године

Са рачуна за електричну енергију се може запазити да се у појединим месецима јавља прекомерна реактивна енергија услед непостојања компензатора реактивне енергије.

На основу годишње ангажованости и номиналне снаге уређаја и опреме који користе електричну енергију, може се закључити да је највише електричне енергије потребно за рад пумпи, вентилатора и расвете (укупно 84%), док се за остале електричне уређаје користи 16% испоручене енергије (Слика 14.).



Слика 14. Просечна расподела потрошње електричне енергије

Попис пумпи и вентилатора, њихова номинална снага и ангажовање приказани су у Прилогу 3.

Вредности основних индикатора потрошње електричне енергије приказана је у Табели 6.

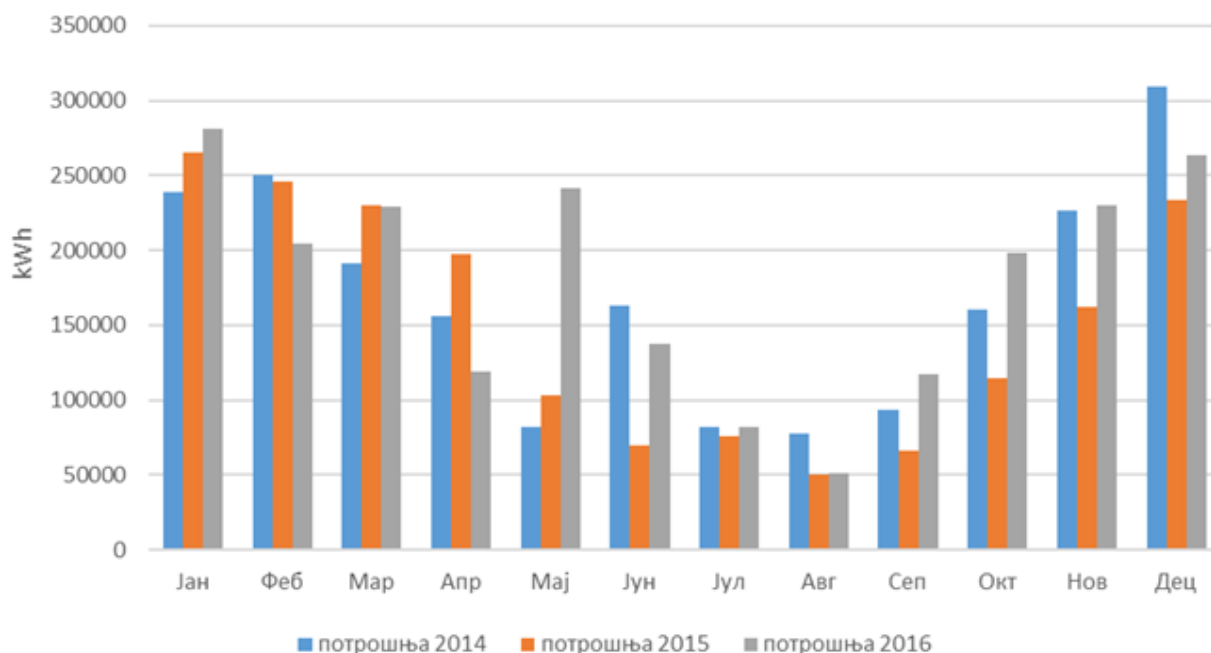
Табела 6. Вредности основних индикатора потрошње електричне енергије

Специфична потрошња по јединици површине зграде	121,86 kWh/m ²
Специфична потрошња по јединичној, грејаној запремини зграде	26,19 kWh/m ³
Специфична потрошња по јединици површине воденог огледала	553,23 kWh/m ²
Специфична потрошња по посетиоцу	6,315 kWh/посетилац

4.2.2. Потрошња топлотне енергије и индикатори потрошње

Топлотна енергија се користи за загревање базенске и санитарне воде, као и за загревање објекта. На основу рачуна за период од 2014.-2016. године, може се рећи да је на годишњем нивоу просечно потребно обезбедити 2.256.282,72 kWh топлотне енергије.

Просечна месечна потрошња топлотне енергије, за период од 2014-2016. године приказана је на Слици 15.



Слика 15. Месечна потрошња топлотне енергије у периоду од 2014. до 2016. године

Током сваке од анализираних година, минимум у потрошњи топлотне енергије бележи се у августу, што се поклапа и са минимумом у годишњој потрошњи електричне енергије. Како на основу броја грејних степен дана август не представља најтоплији месец, поред високих спољашњих температура и смањене потребе за загревањем, претпоставља се да на смањење потрошње утиче пражњење базена, јер је у том периоду базен затворен за посетиоце, те не постоји потреба за загревањем како базенске, тако и санитарне воде.

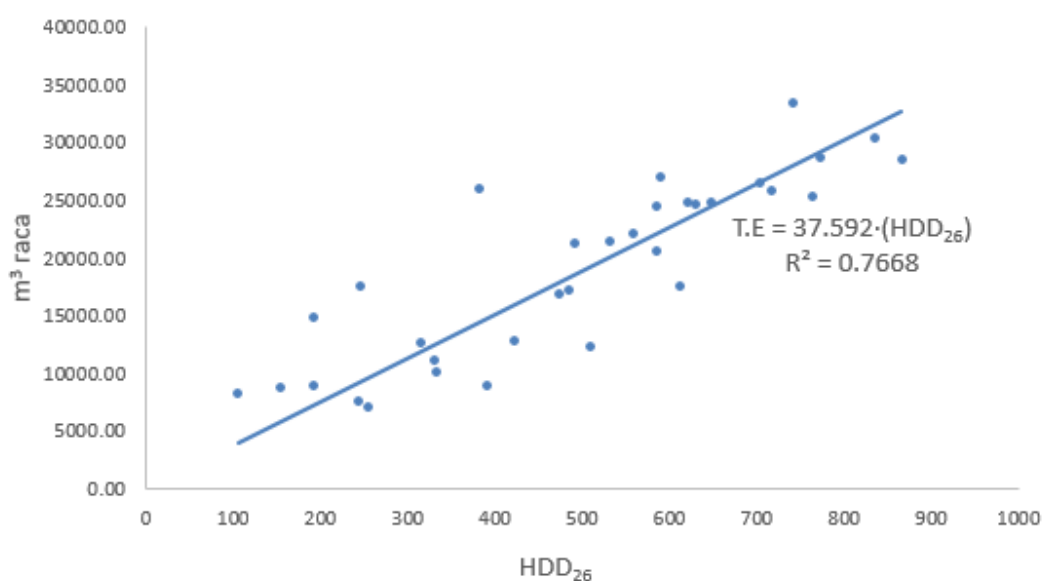
На основу података о варијацији температуре у анализираном периоду (2014-2016. година), израчуната је вредност броја грејних степен дана. Грејни степен дан је рачунат за базну температуру од 26 °С, док је пројектна унутрашња температура усвојена из Правилника о енергетској ефикасности у зградама (28 °С).

У Табели 7. су упоредо приказане потрошене количине топлотне енергије и одговарајуће вредности грејних степен дана.

Табела 7. Упоредна потрошња топлотне енергије и одговарајуће вредности грејних степен дана

Година	Потрошња енергента [m ³]	Количина топлотне енергије [kWh]	HDD ₂₆
2014.	219.364	2.031.530	5.547,3
2015.	196.056	1.815.674,6	5.556
2016.	232.750	2.155.497,75	5.732,36
Просечна потрошња	216.056,67	2.000.900,783	5.611,89

На Слици 16. приказана је зависност потрошње топлотне енергије од грејних степен дана. Како редовно годишње одржавање базена утиче на потрошњу топлотне енергије, месец август је изузет из прорачуна.



Слика 16. Зависност потрошње природног гаса од броја грејних степен дана

Вредност коефицијента корелације ($R^2=0.7668$) упућује на могућност успостављања бољег система за менаџмент топлотном енергијом.

На основу формуле (1) може се израчунати укупна количина потребне енергије за припрему санитарне топле воде на годишњем нивоу Q_w [kWh] [16]:

$$Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot V_w \cdot (T_w - T_0) \quad (1)$$

где су:

V_w [m³] - годишња потрошња воде,

T_w [°C] - температура воде у резервоару (45 °C),

T_0 [°C] - температура воде у водоводној мрежи (14 °C),

$\rho_w \cdot c_w$ [kWh/m³K] - производ густине ($\rho_w=1.000$ kg/m³) и специфичне топлоте воде ($c_p=4,18$ kJ/kgK) - ($\rho_w \cdot c_w=1,161$ kWh/m³K)

Уколико се претпостави да 300 посетиоца дневно потроши по 70 l воде, потрошња санитарне топле воде на годишњем нивоу износи 7.665 m³. Да би потребе за топлим водом биле задовољене, потребно је обезбедити 275.633,4 kWh топлотне енергије на годишњем нивоу.

Под претпоставком да током јула, најтоплијег летњег месеца, не постоји потреба за ангажовањем грејача у клима комори, на основу анализе рачуна и прорачунате количине топлотне енергије за припрему санитарне топле воде, одређено је да је за загревање базенске воде потребно обезбедити приближно 637.428 kWh/години.

Узимајући у обзир потрошњу током месеци када није потребно загревање простора, за рад клима коморе потребно је обезбедити 325.944 kWh/години.

Претпоставља се да се преостала количина испоручене топлотне енергије користи за загревање простора.

Просечна расподела потрошње топлотне енергије приказана је на Слици 17.



Слика 17. Просечна расподела потрошње топлотне енергије

Вредности основних индикатора потрошње топлотне енергије приказане су у Табели 8.

Табела 8. Вредности основних индикатора потрошње топлотне енергије

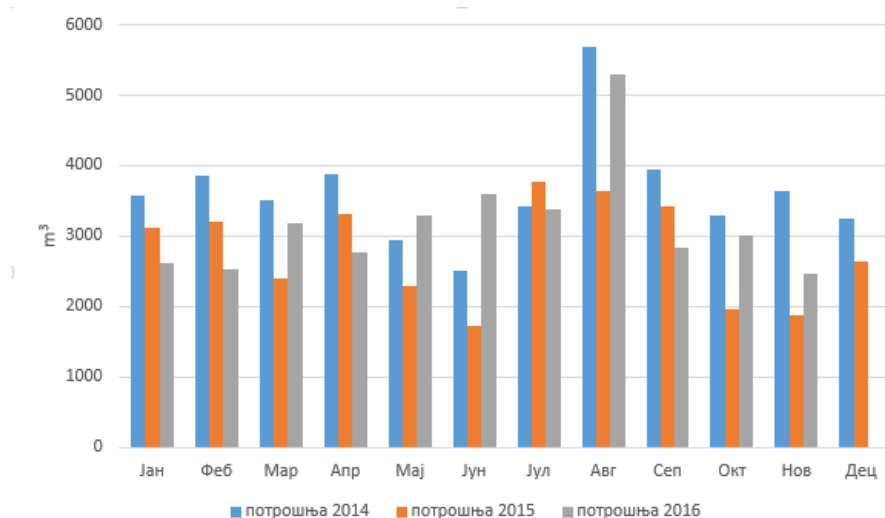
Специфична потрошња по јединици површине зграде	397,58 kWh/m ²
Специфична потрошња по јединичној, грејаној запремини зграде	85,47 kWh/m ³
Специфична потрошња по јединици површине воденог огледала	1805,026 kWh/m ²
Специфична потрошња по посетиоцу	20,61 kWh/посетилац

4.2.3. Потрошња воде и индикатори потрошње

На основу доступних рачуна за период од 2014.-2016. године, забележена је просечна годишња потрошња воде од 37.269 m³. Специфична потрошња воде по посетиоцу, на годишњем нивоу, износи 340 l/посетиоцу.

На основу индикатора о потрошњи воде, представљених у Поглављу 3.3. може се закључити да се у анализираном објекту затворених пливачких базена у Крагујевцу потроши знатно већа количина воде по посетиоцу у поређењу са базенима у којима је забележен пример добре праксе.

На Слици 18. приказана је просечна месечна потрошња за поменути период. Са слике се увиђа да се највећа потрошња сваке године остварује у августу. Током овог месеца се врши годишње одржавање базена које подразумева санацију оштећења, као и комплетну замену базенске воде.



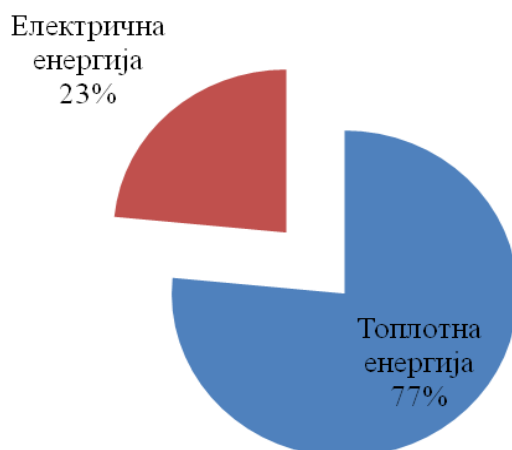
Слика 18. Месечна потрошња воде у периоду од 2014.-2016. године

4.2.4. Укупна потрошња енергије

Укупна енергетска потреба објекта затворених пливачких базена у Крагујевцу, на годишњем нивоу, просечно износи 2.947.816,05 kWh.

Просечно је потребно обезбедити 2.256.282,72 kWh топлотне енергије и 691.533,33 kWh електричне енергије.

На Слици 19. приказана је структура потрошње финалне енергије.



Слика 19. Структура потрошње финалне енергије у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу

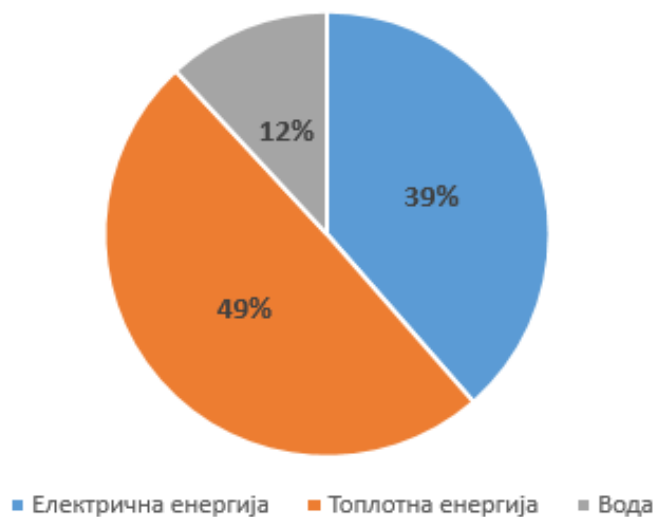
Просечна цена енергената и воде приказана је у Табели 9.

Табела 9. Просечна цена енергената и воде

Природни гас [€/m ³]	0,4
Електрична енергија [€/kWh]	8,91
Вода [€/m ³]	0,51

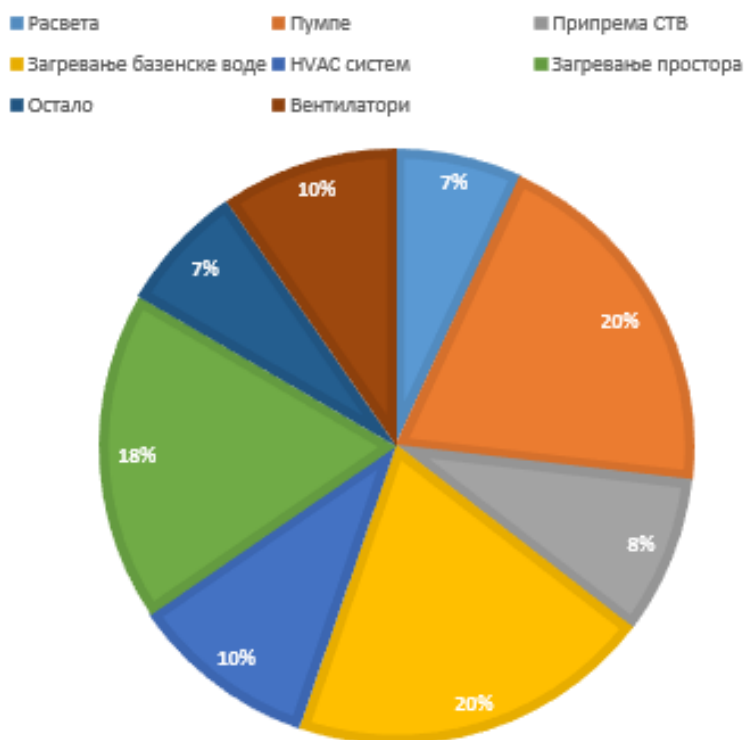
Укупни трошкови за енергенте и воду у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу износе преко 159.808 €. Структура трошкова приказана је на Слици 20.

Трошкови грејних енергената су највећи и износе 49 %, трошкови за електричну енергију су 39 %, док трошкови за воду износе око 12 % укупних трошкова.



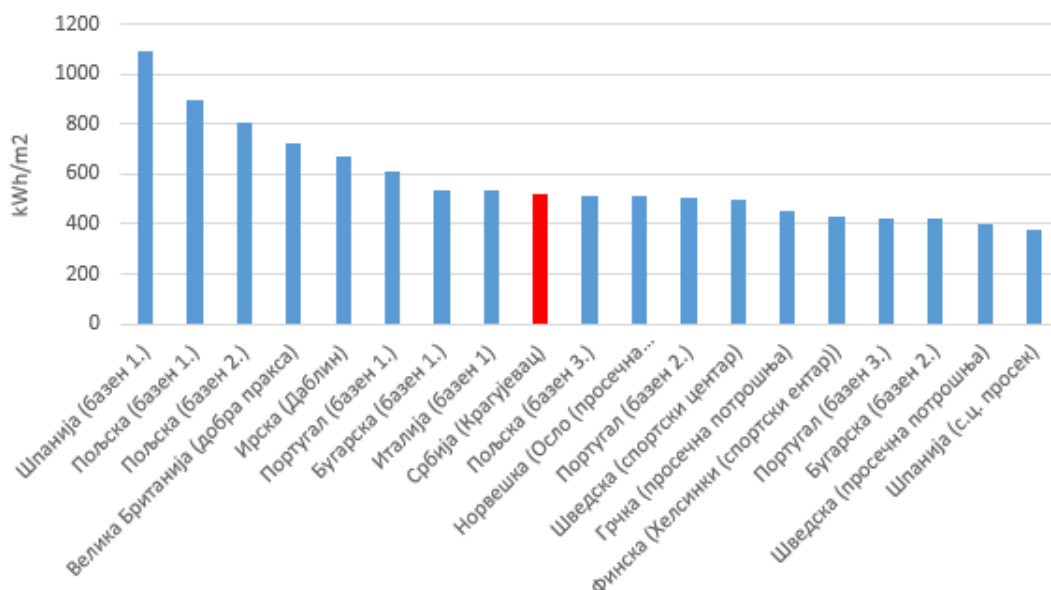
Слика 20. Структура трошкова у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу

Структура потрошње примарне енергије у анализираним затвореним базенима приказана је на Слици 21., одакле се уочава да је највећи удео примарне енергије потребан за рад пумпи и загревање базенске воде (укупно 40%).



Слика 21. Структура потрошње примарне енергије

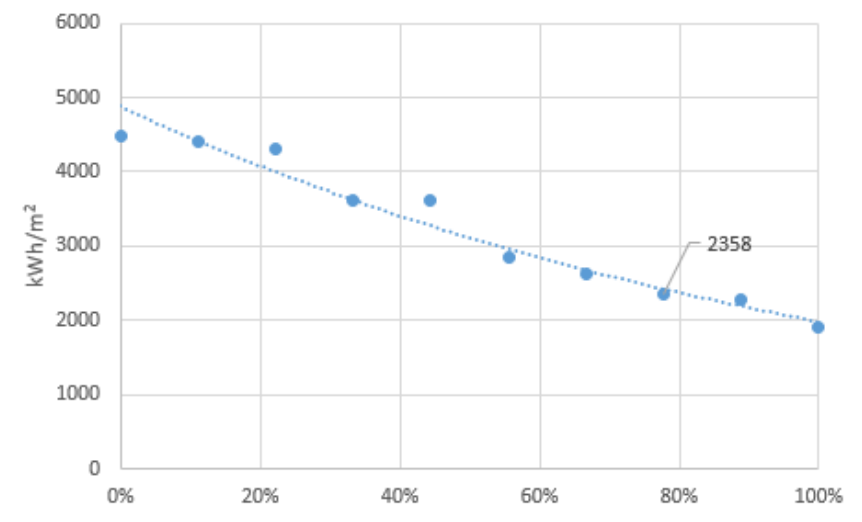
Потрошња укупно испоручене финалне енергије на годишњем нивоу по јединичној површини корисног простора је $519,44 \text{ kWh/m}^2$. На Слици 22. представљена је упоредна потрошња анализираниог објекта са објектима чија је потрошња приказана у Поглављу 2.



Слика 22. Упоредна потрошња финалне енергије у објектима затворених пливачких базена

По јединичној површини воденог огледала потрошња укупно испоручене енергије износи $2.358,256 \text{ kWh/m}^2$. У поређењу са базенским халама представљеним у Поглављу 2., процентуално учешће у потрошњи затворених базена у Крагујевцу, на основу овог индикатора, представљено је на Сlici 23.

Са слике се увиђа да зграде затворених пливачких базена у Крагујевцу, спадају у 22% анализираних зграда код којих је забележена потрошња енергије по јединичној површини воденог огледала мања од 2.358 kWh/m^2



Слика 23. Удеоно учешће анализираних базенских објеката у потрошњи укупно испоручене енергије по јединичној површини воденог огледала

5.0. Предлог мера уштеде енергије у згради затворених пливачких базена у Крагујевцу

На основу спроведеног енергетског билансирања размотрене су мере и активности за смањење потрошње енергије и/или енергетских трошкова. За сваку од предложених мера/активности, приказане су потенцијалне годишње енергетске и новчане уштеде, трошкови имплементације мера, као и период отплате (Табела 10). У наставку поглавља, приказана је детаљна техно-економска анализа предложених мера /активности.

Табела 10. Предложене мере/активности за побољшање енергетске ефикасности у затвореним пливачким базенима у Крагујевцу

Предложена мера за уштеду енергије	Годишње уштеде	Потенцијалне годишње новчане уштеде (€)	Трошак имплементације мере (€)	Период отплате (година)
Уградња компензатора реактивне енергије	(57.054, 4 kVAr)	780	2.700	3,5
Загревање СТВ пријемницима сунчеве енергије	82.690,6 kWh	3.310	32.756	9,9
Загревање базенске воде пријемницима сунчеве енергије	264.268, 97 kWh	10.575	30.450	2,91
Уградња покривача за базене	209.079, 9 kWh	8.363	9.760	1,16
Замена постојеће расвете	60.770 kWh	5.470	20.890	3,83
Уградња програмирајућег тајмера	252,3 kWh	25	25	1
Уградња постојећег когенерационог постројења		6.000	7.000	1,16

Како су код мотора за погон пумпи у постројењу за филтрацију воде намотаји електромотора повезани у "звезду", предлаже се уградња софт-стартера. Иако је тешко да се израчуна уштеда која се овом мером постиже, уградњом софт-стартера смањује се стартна струја мотора, омогућава се стабилно покретање и заустављање и избегавају се хидраулички и механички удари. На овај начин се обезбеђује продужени радни век мотора. Уградња ових уређаја предлаже се приликом рада мотора код којих је

забележено често заустављање. Како се у постројењу погоне четири пумпе, од којих је једна увек ангажована, предлаже се уградња три мека стартера, за рад мотора који се сменски ангажују. Јединична цена уређаја, која одговара мотору снаге 15 kW је 340 €, те је укупни инвестициони трошак 1.020 €.

5.1. Уградња компензатора реактивне енергије

Снага потребних кондензаторских батерија за компензацију реактивне енергије израчуната је на основу формуле (2), приказане у каталогу [32]:

$$Q=P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (2)$$

где су:

P [kW] - обрачунска снага,

φ_1 [°] - фазни угао пре компензације,

φ_2 [°] - фазни угао после компензације (за жељену вредност фактора снаге).

У случају посматраних градских базена обрачунска снага износи 320 kW. Применом кондензаторских батерија, тежи се ка постизању вредности фактора снаге $\cos \varphi_2 = 0,98$, одакле се добија вредност $\tan \varphi_2 = 0,2$. Добијена вредност снаге батерије се, по правилу, заокружује на прву већу стандардну вредност.

У Табели 11. представљена је годишња потрошња активне и реактивне енергије (2014-2016. године), као и уштеде у потрошњи реактивне енергије које применом кондензаторских батерија могу да се остваре.

На основу анализе података представљених у табели, потребно је изабрати кондензаторске батерије капацитета 75 kVAr. Приликом одабира капацитета увек треба водити рачуна да називна снага батерије буде мања од 35% номиналне електричне снаге. Предлаже се комбинација батерија од 2x5 kVAr, 2x12,5 kVAr и 2x20 kVAr, како би увек могао да се обезбеди потребни капацитет. У посматраном случају, потребно је инсталирати централни тип компензације, који укључује кућиште са вентилацијом, вишестепени контролер, контакторе, батерије, и остали прикључни материјал. Процењена цена инсталације је 2.700 €. Уколико се у обзир узму потенцијалне уштеде, на основу рачуна за 2016. годину, у износу од 780 €, процењени период отплате је приближно 3 године и 6 месеци.

Табела 11. Приказ потребне потрошње електричне енергије на годишњем нивоу

	Активна енергија [kWh]	Реактивна енергија [kVArh]	Фактор снаге $\cos \varphi_1$ [-]	Потрошња реактивне енергије за фактор снаге $\cos \varphi_2=0,98$ [kVArh]	Остварена уштеда за фактор снаге $\cos \varphi_2=0,98$ [RSD]
2014. година					
Јануар	89.600	36.600	0,926	18.194,1	32.306,2
Фебруар	78.800	28.600	0,940	16.001,0	19.297,6
Март	78.600	28.600	0,940	15.960,4	19.433,0
Април	85.600	31.200	0,940	17.381,8	21.298,1
Мај	79.600	27.000	0,947	16.163,5	14.692,0
Јун	56.200	10.200	0,984	10.200,0	0,0
Јул	56.800	10.400	0,984	10.400,0	0,0
Август	0	0	-	0,0	0,0
Септембар	92.400	13.600	0,989	13.600,0	0,0
Октобар	50.000	7.200	0,990	7.200,0	0,0
Новембар	0	0	-	0,0	0,0
Децембар	113.600	16.000	0,990	16.000,0	0,0
Укупно:					107.027,0
2015. година					
Јануар	50.800,0	8.400,0	0,987	8.400,0	0,0
Фебруар	57.200,0	10.000,0	0,985	10.000,0	0,0
Март	65.400,0	12.800,0	0,981	12.800,0	0,0
Април	64.600,0	15.200,0	0,973	13.117,6	2.644,7
Мај	62.600,0	13.600,0	0,977	12.711,5	1.128,4
Јун	55.400,0	10.600,0	0,982	10.600,0	0,0
Јул	58.800,0	9.400,0	0,987	9.400,0	0,0
Август	41.400,0	16.400,0	0,930	8.406,6	13.697,4
Септембар	56.200,0	15.800,0	0,963	11.411,9	5.572,9
Октобар	63.600,0	18.800,0	0,959	12.914,5	7.474,5
Новембар	58.000,0	11.000,0	0,982	11.000,0	0,0
Децембар	69.000,0	28.800,0	0,923	14.011,0	26.440,1
Укупно:					56.958,0
2016. година					
Јануар	57.000,0	19.800,0	0,9446	11.574,3	11.797,9
Фебруар	61.400,0	19.200,0	0,9544	12.467,8	8.549,9
Март	66.000,0	22.000,0	0,9487	13.401,9	11.308,2
Април	60.000,0	19.722,0	0,9500	12.183,5	9.573,9
Мај	48.600,0	16.600,0	0,9463	9.868,7	9.342,6
Јун	46.400,0	16.600,0	0,9416	9.421,9	10.751,9
Јул	42.800,0	15.200,0	0,9423	8.690,9	9.704,2
Август	28.200,0	8.400,0	0,9584	5.726,3	3.395,7
Септембар	42.800,0	13.600,0	0,9530	8.690,9	6.234,5
Октобар	44.200,0	11.600,0	0,9672	8.975,2	3.333,5
Новембар	31.800,0	11.000,0	0,9451	6.457,3	6.464,0
Децембар	61.200,0	13.000,0	0,9782	12.427,2	727,5
Укупно:					91.183,7

5.2. Загревање санитарне воде пријемницима сунчеве енергије

За загревање санитарне воде предлаже се уградња соларних колектора и соларног бојлера. Соларни састав, вредност и време отплате инвестиције анализирају се на основу алгоритма представљеног у [33].

Како затворени пливачки базени представљају енергетски захтевне објекте у којима потрошња топле воде зависи од броја посетилаца, на почетку прорачуна је усвојена претходно израчуната вредност енергија потребне за загревање санитарне воде на годишњем нивоу ($Q_{uk} = 275.633,4 \text{ kWh}$).

Потребна површина пријемника сунчеве енергије (ПСЕ) може се израчунати на основу формуле:

$$A_{PSE} = Q_{uk} / G_a \cdot k_a \cdot \eta_{pse} \quad (3)$$

где су:

$A_{PSE} [\text{m}^2]$ - потребна површина пријемника сунчеве енергије,
 $G_a [\text{kWh/m}^2\text{a}]$ - годишња енергија глобалног сунчевог зрачења,
 $k_a [-]$ - фактор корекције због неповољне оријентације и нагиба,
 $\eta_{pse} [-]$ - степен корисности соларног панела.

Годишња енергија глобалног сунчевог зрачења за град Крагујевац износи $1.358 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [8])

За посматрани случај у прорачуну се изоставља фактор корелације, јер равни кров конструкције омогућава постављање пријемника ка југу, под нагибом од 45° .

Усвојена вредност степен корисности соларног плочастог пријемника је 0,60.

На основу прорачуна утврђено је да топлотне потребе за загревањем воде могу да се обезбеде применом соларних пријемника укупне површине од $338,28 \text{ m}^2$.

Потребан број панела се одређује када се израчуната површина соларног пријемника подели јединичном површином одабраног панела, након чега се усваја први већи број. Усвојена је корисна површина колектора од $2,33 \text{ m}^2$. На овај начин је утврђено да је за потребе загревања санитарне топле воде потребно инсталирати 146 плочастих соларних панела.

Потребна запремина резервоара ($V_{R,o} [\text{m}^3]$) се може израчунати применом формуле:

$$V_{R,o} = k_R \cdot A_{PSE} \quad (4)$$

где је са $k_R [\text{m}^3/\text{m}^2]$ означен емпиријски коефицијент односа потребне запремине резервоара и површине пријемника. Усвојена вредност овог коефицијента је $k_R = 0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

У анализираном случају, запремина резервоара износи 20.296 l .

Прост период отплате инвестиције ($t_{uk} [\text{год}]$) рачуна се по формули:

$$t_{uk}=T_{UK}/Q_{UK}\cdot\eta_a\cdot C_{ee} \quad (5)$$

где су:

η_a [-] - степен покривености годишњих потреба за топлом водом и грејањем (за подручје Србије износи од 0,15-0,30);

C_{ee} [€/kWh]-цена енергента;

T_{UK} [€] - инвестициони трошак, који се рачуна према:

$$T_{UK}=(T_{pse}+C_r)\cdot k_d\cdot k_{stv}\cdot k_r \quad (6)$$

где је:

T_{pse} [€] - трошак за пријемнике сунчеве енергије;

k_d [-] - коефицијент који укључује трошкове додатне опреме, монтаже и уградње система (усвојена вредност $k_d=1,125$);

k_{stv} [-] - коефицијент којим се обухвата изградња, или реконструкција система за припрему санитарне воде (усвојена вредност 1,2);

k_r [-] - коефицијент који обухвата могућу реконструкцију крова (усвојена вредност 1,2).

Трошак пријемника сунчеве енергије добија се када се израчунати број панела помножи са јединичном ценом (усвојена цена панела је 70 €). Цена резервоара процењена је на 10.000 €.

На основу вредности коефицијената, као и трошкова набавке панела и резервоара, утврђена цена пријемника сунчеве енергије је 32.756 €, док је период отплате инсталације је приближно 9 година и 11 месеци.

5.3. Загревање базенске воде пријемницима сунчеве енергије

Током лета могуће је потпуно заменити конвенционалне методе загревања базенске воде пријемницима сунчеве енергије. Процена потребне површине пријемника, као и количине топле воде коју они обезбеђују урађена је на основу методологије представљеној у [34].

Потребна површина соларних пријемника (A_{pse} [m²]) рачуна се по формули:

$$A_{pse}=\rho\cdot c_p\cdot A_{baz}\cdot z_{baz}\cdot\Delta T/\eta_{pse}\cdot G_d\cdot 3600 \quad (7)$$

где су:

ρ [kg/m³]- густина воде;

c_p [kJ/kgK]- специфична топлота воде;

η_{pse} -степен корисности плочастог панела (препоручена вредност $\eta_{pse}=0,6$);

ΔT [°C]- пад температуре (у затвореним базенима без покривача $\Delta T=1$ °C);

G_d [kWh/(m²дан)]-глобална дневна енергија зрачења сунца.

Глобална дневна енергија зрачења сунца за јун и јул на посматраном локалитету просечно износи 6,275 kWh/(m²дан).

Да би потребе за топлотном енергијом биле задовољене потребно је обезбедити површину од 809,54 m² соларних пријемника, односно 348 соларних панела.

Време повраћаја инвестиције се рачуна према:

$$t_{uk}=T_{uk}/(A_1 \cdot n_p \cdot G_g \cdot \eta_{pse} \cdot \eta_a \cdot C_{ee}) \quad (8)$$

где су:

T_{uk} [€] - укупни инвестициони трошак;

A_1 [m²] - корисна површину панела;

n_p - усвојени број панела;

η_a [-]степен покривености годишњих потреба за загревањем базенске воде (усвојена вредност $\eta_a=0,4$);

G_g [kWh/m²a] - годишња енергија глобалног сунчевог зрачења;

C_{ee} [€/kWh]- цена енергента, којим се тренутно загрева базенска вода (просечна цена природног гаса на базенима је 0,04 €/kWh).

Укупни инвестициони трошак, се одређује према:

$$T_{uk}=T_{pse} \cdot k_d \cdot k_g \quad (9)$$

где су:

k_d [-] - коефицијент који обухвата трошкове додатне опреме, монтаже и уградње система (усвојена вредност $k_d=1,125$);

k_g [-] - коефицијент који обухвата трошкове додатних радова (усвојена вредност $k_g=1$);

T_{pse} [€]- трошкови за набавку пријемника сунчеве енергије;

Годишња енергија глобалног сунчевог зрачења за град Крагујевац износи 1.358 kWh/m²a.

Процењена цена пријемника сунчеве енергије је 70 €/пријемнику. Укупни инвестициони трошак износи 30 450 €.

Процењени период отплате је 2 године и 11 месеци.

5.4. Инсталација програмирајућег тајмера на пумпама санитарне топле воде

Проблем константног ангажовања циркулационе пумпе, који узрокује повећање потрошње енергије, отказивање лежајева и саме пумпе у систему за припрему санитарне топле воде, може бити решен уградњом програмирајућег тајмера. Овим уређајем се омогућава аутоматско временско искључивање пумпе када зграда базена нису отворене за посетиоце. Како је радним данима зграда базена затворена шест часова дневно, прекидом ангажовања пумпи у овом периоду могу се остварити уштеде од 0,66 kWh. Уколико се у обзир узме да викендом базени не раде 7 часова дневно,

укупна годишња уштеда износи 252,34 kWh. Поред тога, угадњом програмирајућег тајмера продужава се радни век пумпе и њених делова.

Цена тајмера и инсталације је процењена на 25 € и само на основу уштеда које се остварују смањењем потрошње енергије, процењени период отплате је годину дана.

5.5. Уградња покривача за базене

У затвореним базенима, дневни топлотни губици по јединичној површини воденог процењују се на око 2,5 kWh/m² [33]. На основу ове процене може се претпоставити да су дневни топлотни губици затворених пливачких базена у Крагујевцу 3.125 kWh. Према [35], до 27% губитака долази услед вентилације, док до чак 70% губитака долази услед испаравања базенске воде. Испаравање може да се смањи уградњом базенских покривача у терминима када базени нису у употреби. Како покривачи могу да се користе 6 часова дневно током радних дана, претпоставља се да тиме може доћи до смањења губитака топлоте услед испаравања за 25%, односно до постизања уштеде од 546,9 kWh. На годишњем нивоу може се уштедети до 209.079,9 kWh. Цена уградње, која укључује цену моталице покривача и покривач одговарајућих димензија процењује се на 9.760 €, док је процењени период отплате годину дана и два месеца.

5.6. Замена постојеће расвете LED расветом

Према [36] заменом постојеће расвете енергетски ефикаснијом LED расветом могу да се остваре уштеде од чак 60% у потрошњи енергије.

У Табели 12. приказан је упоредни приказ постојеће расвете у објекту базена и одговарајуће LED замене. Главни критеријум при одабиру замене, поред типа прикључка светиљке односио се на осветљај, на основу које су одабране светиљке сличне, или приближне вредности. Напомиње се да је осветљај предложене замене за 2.000 lm мања од тренутно коришћене флуоресцентне цеви снаге 58 W. Оправданост оваквог одабира лежи у тржишној понуди, у којој се не постоји одговарајућа LED цев веће светлосне снаге.

Применом постојеће расвете годишње се потроши 100.549 kWh електричне енергије, док процењена потенцијална уштеда, која може да се постигне уградњом нових светиљки, износи 60.770 kWh. Процентуално, заменом расвете енергетски ефикаснијом могуће је остварити уштеду од 60,44%.

Сходно броју потребних светиљки и њиховој јединочној цени, за комплетну замену расвете потребно је издвојити 20.887,26 €. Уколико се усвоји просечна цена електричне енергије од 0,09 €, процењени период отплате је 3 године и 10 месеци.

Табела 12. Упоредни приказ постојеће расвете и препоручене замене

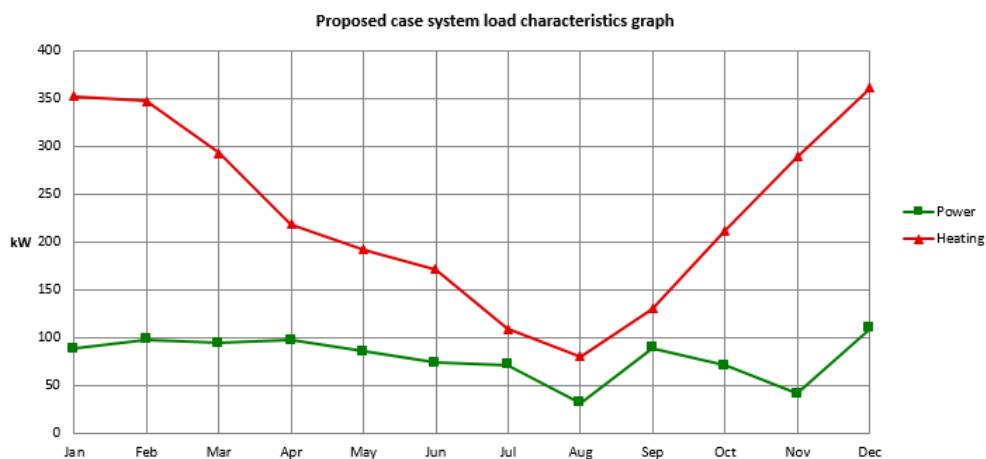
Постојећа расвета			Препоручена замена			
Тип расвете	Номинална снага [W]	Осветљај [lm]	Тип расвете	Номинална снага [W]	Осветљај [lm]	Цена [€]
Флуоресцентна цев	58	5.240	LED цев	20	3.100	27
	36	3.100		14	2.000	28
	14	1.200		8	1.200	23,45
Флуоресцентна светиљка (прикључак са 4 пина)	26	1.134	LED светиљка (прикључак са 4 пина)	12	1.100	8
Метал халогени рефлектор	150	1.300	LED рефлектор	30	1.700	10,74
Халогена светиљка (GU 10 прикључак)	35	260	LED светиљка (GU 10 прикључак)	5	300	13
Инкадесцентна (прикључак E27)	60	800	LED светиљка (прикључак E27)	7	830	6

У рефлекторском осветљењу базенског простора не постоји могућност ефикасније замене само коришћених светиљки, јер се на тржишту не могу пронаћи LED светиљке одговарајуће светлосне снаге. Могуће је извршити замену целог рефлектора LED рефлектором еквивалентне светлосне снаге произвођача Philips, модела ClearFlood large BVP651 LED500-4S/740 S ALU PSU, јединичне цене 1.256 €. Услед мале уштеде која на овај начин може да се оствари (8.914,5 kWh), процењени период отплате је неоправдано дугачак, те се замена не препоручује.

5.7. Уградња когенерационог постројења

Енергетска анализа за уградњу когенерационог постројења спроведена је у софтверском пакету RETScreen. Подаци о потрошњи топлотне и електричне енергије унети су на основу просечне месечне потрошње за период од 2014.-2016. године. На основу унетих података, добијено је профил месечног енергетског оптерећења објекта (Слика 24).

Proposed case load characteristics		
Month	Power net average load kW	Heating net average load kW
January	88	352
February	98	348
March	94	293
April	97	219
May	85	192
June	73	172
July	71	108
August	31	80
September	89	130
October	71	212
November	41	289
December	109	362
Peak load - annual	153	362

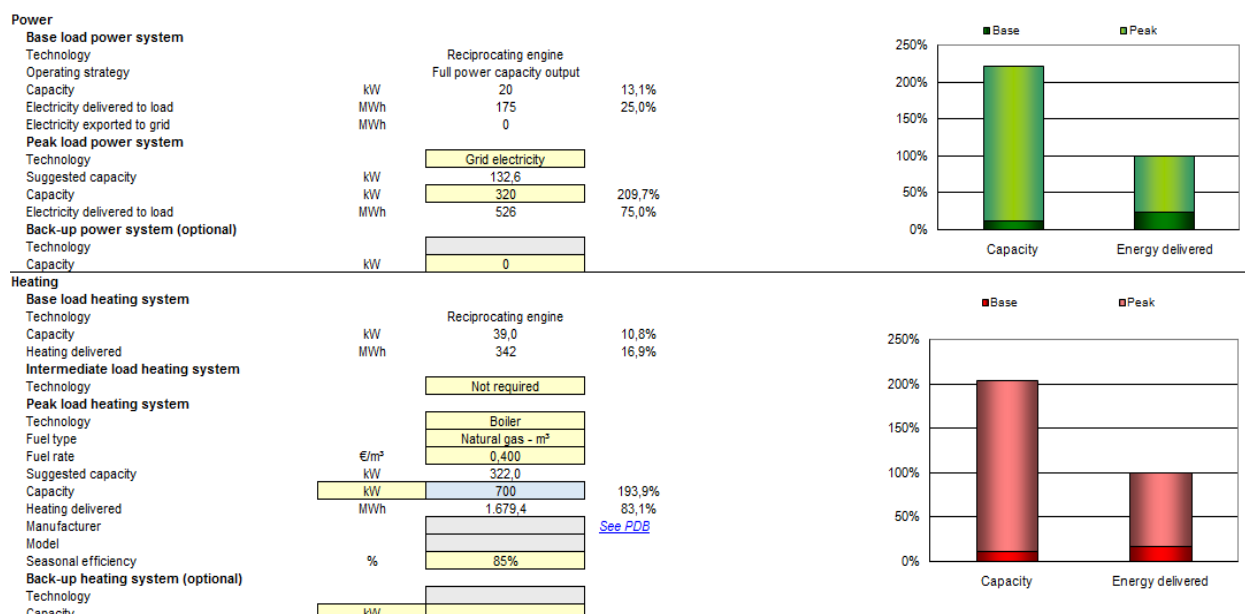


Слика 24. Приказ профила енергетског оптерећења анализираног објекта

За задовољење потпуних енергетских потреба, на основу унетих података, предложено је когенерационо постројење електричне снаге 152,9 kW и 361,5 kW топлотне снаге. Како се разматра могућност уградње постојећег постројења марке Vitobloc 200, модела EM-20/39, чија је електрична снага 20 kW и топлотна снага 39 kW, софтвером је прорачунато потенцијално процентуално задовољење енергетских потреба анализираног објекта (Слика 25.).

Применом овог постројења задовољава се 25% годишње потребе за електричном енергијом. У том случају, когенерационо постројење би објекат затворених базена годишње снабдевало са 175 MWh електричне енергије. Преостале енергетске потребе (326 MWh електричне енергије годишње) би се задовољиле из мреже..

Посматрано когенерационо постројење генерисало би 342 MWh топлотне енергије, при чему би се задовољило 16,9% топлотног оптерећења анализираног објекта. Преостала потреба за топлотном енергијом надокнадила би се применом постојећих гасних котлова снаге 700 kW.



Слика 25. Анализа могућности инсталације когенеративног постројења Vitobloc 200 модела EM-20/39

За производњу посматране количине енергије применом поменутог когенерационог постројења потребно је обезбедити 58.645 m^3 природног гаса, чија је цена приближно $0,4 \text{ €/m}^3$. Приликом рада постројења остварују се новчане уштеде настале услед разлике у цени електричне енергије. За куповину 175.000 kWh електричне енергије по тренутној цени енергента ($0,09 \text{ €/kWh}$), потребно је издвојити 15.750 € , док је за производњу 342.000 kWh топлотне енергије потребно издвојити 13.680 € , односно 29.430 € укупно. Како је приликом ангажовања когенерационог постројења за ову количину енергије потребно обезбедити 23.458 € , може се рећи да потенцијалне уштеде износе приближно 6.000 € .

Цена транспорта, израде потребне документације, инсталације и одржавања система је процењена на 7.000 € , док је период отплате процењен на годину дана и два месеца.

6.0. Закључак

У сектору зградарства лежи велики потенцијал уштеде енергије и унапређења енергетске ефикасности, при чему се енергетске потребе спортских објеката не могу поредити са потребама осталих енергетских потрошача у овом сектору. Затворени пливачки базени, који су предмет анализе овог рада, отворени су 2011. године и припадају спортско-рекреативном комплексу. За правилно функционисање објекта, на годишњем нивоу је потребно обезбедити 2.947.816 kWh финалне енергије, од чега 2.256.282,72 kWh топлотне енергије и 691.533,33 kWh електричне енергије. У анализираном објекту, електрична енергија се користи за рад расвете (16%), пумпних постројења (46%), вентилатора (22%) и осталих електричних уређаја (16%). Топлотна енергија, генерисана применом гасних котлова, користи се за загревање санитарне топле воде (15%), загревање базенске воде (35%), рад вентилационог система (18%) и за загревање простора (32%). На основу укупне потрошње финалне енергије у згради затвореног пливачког базена по јединичној површини воденог огледала, а на основу анализе литературних података, утврђено је да објекат припада 20% објеката са најмањом потрошњом. Са друге стране, објекат представља пример лоше праксе када је у питању потрошња воде, у поређењу са препорученим литературним вредностима. Утврђивањем узрока прекомерне потрошње воде, као и њеним смањењем, директно се утиче и на смањење потрошње енергије.

Трошкови грејних енергената и износе 49 %, трошкови за електричну енергију су 39 %, док трошкови за воду износе око 12 % укупних трошкова.

На основу спроведеног енергетског билансирања размотрене су мере и активности за смањење потрошње енергије и енергетских трошкова. Инсталацијом соларних колектора за загревање базенске воде, може се уштедети до 264.268,97 kWh/год. Соларним колекторима за загревањем санитарне топле воде годишње се може уштедети 82.690,2 kWh/год. Када је објекат затворен за посетиоце, испаравање се може смањити употребом покривача за базене, чиме се може остварити уштеда од 209.079 kWh/год. Заменом постојеће расвете енергетски ефикаснијом могуће је уштедети до 60.770 kWh/год. Уградњом компензатора реактивне енергије, новчани годишњи приход 730 €/год. Уградњом постојећег когенерационог постројења годишње се може уштедети приближно 6.000 €/год.

Уколико се изузме могућност загревања санитарне топле воде пријемницима соларне енергије, период отплате свих осталих мера је мањи од пет година, те треба размортити реализацију уградње, јер би веома брзо резултирала уштедама како енергије, тако и новца.

Литература

- [1] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, “A review on buildings energy consumption information,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, Jan. 2008.
- [2] “Energy Efficiency-Buildings,” *European Commission*, 28-Mar-2018. [Online]: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>.
- [3] H. Ma *et al.*, “Analysis of typical public building energy consumption in northern China,” *Energy Build.*, vol. 136, pp. 139–150, Feb. 2017.
- [4] М. Тодоровић, О. Ећим, И. Мартиновић, “Избор прилаза унапређењу енергетске ефикасности и одрживости зиданих зграда,” *Материјали Констр.*, вол. 53, пп. 5–27, 2010.
- [5] D. D’Agostino, B. Cuniberti, and P. Bertoldi, “Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings,” *Energy Build.*, vol. 153, pp. 72–86, Oct. 2017.
- [6] “Трећи акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије.” Службени гласник РС 1/17
- [7] M. Seneviratne, “Swimming pools,” in *A Practical Approach to Water Conservation for Commercial and Industrial Facilities*, Elsevier Science, 2007.
- [8] “Програм енергетске ефикасности града Крагујевца за период 2018-2020 година.”, 2018. година
- [9] E. Trianti-Stourna *et al.*, “Energy conservation strategies for sports centers: Part A. Sports halls,” *Energy Build.*, vol. 27, pp. 109–122, 1998.
- [10] “Energy efficiency in swimming pools-for centre managers and operators, Good practice guide219.” Oxfordshire, 1997.
- [11] E. Trianti-Stourna *et al.*, “Energy conservation strategies for sports centers: Part B. Swimming pools,” *Energy Build.*, vol. 27, no. 2, pp. 123–135, Apr. 1998.
- [12] P. Wynne and E. D. McLean, “Energy Audit of a Fitness/Leisure Centre,” vol. 5, p. 12, 2017.
- [13] W. Kampel, S. Carlucci, B. Aas, and A. Bruland, “A proposal of energy performance indicators for a reliable benchmark of swimming facilities,” *Energy Build.*, vol. 129, pp. 186–198, Oct. 2016.

- [14] L. Gunnarsson, “D2.2. Integrated report. Energy audits and Energy Performance Certification.”
- [15] “Правилник о енергетској ефикасности зграда.” Службени гласник РС 61/2011,
- [16] Maja Todorović, “Energetska efikasnost sistema grejanja i klimatizacije.” Online: <http://aliquantum.rs/wp-content/uploads/2012/01/08-Predavanje-Sanitarna-topla-voda.pdf>.
- [17] *Sports and leisure Introducing energy saving opportunities for business*. Carbon Trust, 2006. [Online]: https://www.carbontrust.com/media/39352/ctv006_sports_and_leisure_sector_overview.pdf
- [18] *Best practice guidelines for water management in aquatic leisure centres*. Sydney Water, 2011. [Online]: https://www.sydneywater.com.au/web/groups/publicwebcontent/documents/document/zgrf/mdq1/~edisp/dd_045262.pdf
- [19] D. Živković, M. Mančić, and D. Milčić, “Dinamičke simulacije energetskog sistema zatvorenih plivačkih bazena primenom programskog paketa TRNSYS,” presented at the INFOTEH-JAHORINA, Jahorina, Bosna i Hercegovina, 2013, vol. 12, pp. 130–135.
- [20] J. J. Duverge, P. Rajagopalan, and R. Fuller, “Defining aquatic centres for energy and water benchmarking purposes,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 31, pp. 51–61, May 2017.
- [21] A. Saari and T. Sekki, “Energy Consumption of a Public Swimming Bath,” *Open Constr. Build. Technol. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 202–206, Oct. 2008.
- [22] W. Kampel, B. Aas, and A. Bruland, “Energy-use in Norwegian swimming halls,” *Energy Build.*, vol. 59, pp. 181–186, Apr. 2013.
- [23] “Monitoring of the Passive House indoor swimming pool in Lünen,” *PASSIPEDIA, The passive House Resource*, 05-Jul-2018. [Online]: https://passipedia.org/examples/non-residential_buildings/passive_house_swimming_pools.
- [24] W. Kampel, B. Aas, and A. Bruland, “Characteristics of energy-efficient swimming facilities – A case study,” *Energy*, vol. 75, pp. 508–512, Oct. 2014.
- [25] P. Artuso and A. Santiangeli, “Energy solutions for sports facilities,” *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 33, no. 12, pp. 3182–3187, Jun. 2008.
- [26] W. Kampel, “Energy Efficiency in Swimming Facilities,” Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2015.
- [27] “Пројекат изведеног објекта: Електроинсталација гасне котларнице затворених пливачких базена у Крагујевцу” , пројектант дипл. инг. Синиша Зорић

- [28] “Пројекат изведеног објекта: Електроинсталације јаке струје затворених пливачких базена у Крагујевцу”, пројектант дипл. инг. Синиша Зорић
- [29] М. Vujavinović Kulinović and B. Gligorić, *Priručnik za sprovođenje energetskih pregleda zgrada*. Podgorica: giz, 2013.
- [30] Euro heat, [Online]<http://www.euroheat.co.rs/catalog/izmenjivaci-toplote/rastavljivi/> .
- [31] “Termovent klima komore,” *Базенске клима коморе*. [Online]. Available: http://www.termovent.rs/assets/resources/files/BazenskeKlimaKomoreHydraPro_TermoventKomer.pdf.
- [32] *ERG Нисконапонски уређаји за компензацију јалове снаге*. , каталог, [Online]: <http://www.erg.hr/slike/Katalog-ERG-2010.pdf>
- [33] М. Бањац, *Приручник за енергетске менаџере за област општинске енергетике*, Београд: Универзитет у Београду, Машински факултет, 2016.
- [34] С. Илић, Б. Лепотић, *Изградња соларних грејних система у Републици Србији*, водич за инвеститоре, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, прво издање. 2013.
- [35] “RSPEC,” *Reduce Swimming Pool Energy Costs*. [Online]: <http://www.rlmartin.com/rspec/factsheets/covers.htm>.
- [36] М. Josijevic, D. Gordic, D. Milovanovic, N. Jurisevic, and N. Rakic, “A method to estimate savings of led lighting instalation in public buildings: The case study of secondary schools in Serbia,” *Therm. Sci.*, vol. 21, no. 6 Part B, pp. 2931–2943, 2017.

Прилог 1.

Упитник о енергетској ефикасности објекта

Основне информације о објекту

Објект:
Адреса:
Контакт телефон:
Тип објекта:
Година изградње:
Укупна површина:
Површина воденог огледала:
Број корисника објекта:
Радно време:

Систем грејања

Тип система грејања:
Енергент:
Носилац енергије:
Котао
Произвођач и модел:
Бројност:
Снага (појединачна):
Тип горионика:
Ефикасност котла:
Температура воде:
Година уградње:
Да ли постоји мерач потрошње горива?
Тип и стање регулације?
Систем развода
Температура носиоца топлоте:
Да ли постоји топлотна изолација?
Да ли има цурења?

Грејна тела
Тип и бројност грејних тела:
Укупна снага:
Да ли постоје термостатски вентили?
Стање грејних тела:
Годишња употреба система грејања:
Дневна ангажованост;
Ангажованост викендом:

Систем климатизације

Тип климатизационог система:
Година уградње:
Снага:
Стање климатизационог система:
Количина ваздуха која се убацује:
Температура убациваног ваздуха:
Регулација система:
Стање регулационог система:
Тип каналског развода:
Годишња употреба система климатизације:
Дневна ангажованост:
Ангажованост викендом:

Систем вентилације

Тип система вентилације:
Година уградње:
Температура убациваног ваздуха:
Количина свежег ваздуха:
Проток ваздуха:
Количина отпадног ваздуха:
Температура отпадног ваздуха:
Рецикулација ваздуха:
Регулација система:

Стање аутоматске регулације:
Тип грејача ваздуха:
Извор топлоте грејача ваздуха:
Стање грејача ваздуха:
Тип филтера:
Стање система вентилације:
Ангажованост:
Дневна ангажованост:
Ангажованост викендом:

Припрема санитарне топле воде

Начин припреме СТВ:
Тип бојлера:
Број бојлера:
Запремина:
Енергент:
Подешавање температуре:
Стање регулације:
Цурења у систему:
Материјал цеви дистрибутивног система:
Температура испоручене воде:
Температура хладне воде:
Да ли се мери потрошња топле воде?
Да ли постоји водомер на улазу свеже воде?
Ангажованост система:
Ангажованост дневна:
Ангажованост викендом:

Хемијски третман воде:

--

Механички третман воде:

Тип филтера:
Бројност:
Снага:
Начин регулације:
Ангажованост:

Вентилатори:

Број вентилатора:
Снага:
Намена:
Тип регулације:
Ангажованост:

Пумпе:

Тип пумпе:
Намена:
Број пумпи:
Снага:
Тип регулације:
Ангажованост:

Електричне инсталације

Расвета
Унутрашња расвета
Тип, бројност, снага и ангажованост:

Начин управљања:
Спољашња расвета:
Тип, бројност, снага и ангажованост:
Начин управљања:
Електрични потрошачи
Тип потрошача, енергетски разред, бројност, снага, ангажованост:
Да ли постоје компензатори реактивне енергије?

Коментари техничког особља:

Који је по Вашем мишљењу највећи потрошач енергије?
Да ли су испуњени услови комфора у објекту?
Да ли препознајете неке проблеме у исправном функционисању објекта?
Додатни коментари:

Прилог 2.

Попис расвете у просторијама затворених пливачких базена у Крагујевцу

Намена просторије	Површина [m ²]	Тип расвете	Снага [W]	Бројност лампи*	Укупна снага [W]
Основа подрума					
Претпростор са степеништем	84,35	Флуоресцентна	58	8 (7+1A)	928
		Флуоресцентна	14	4 (3+1A)	224
		Флуоресцентна	8	5	40
		Халогена	35	3 (3A)	105
Простор за пречишћавање воде	355,57	Флуоресцентна	58	17 (12+5A)	1972
		Флуоресцентна	8	3	24
Просторија за одржавање	46,4	Флуоресцентна	58	7 (6+1A)	812
		Флуоресцентна	8	2	16
Простор за рекреацију	489,39	Флуоресцентна	26	17	884
		Флуоресцентна	14	40 (31+9A)	2240
		Флуоресцентна	8	7	56
Основа приземља					
Ветробран	84,35	LED	3,1	11(11A)	34,1
		Халогена	150	4 (4A)	600
		Флуоресцентна	8	4	32
Улазни хол	355,57	Флуоресцентна	26	3 (2+1A)	156
		Халогена	35	2 (2A)	70
Кабине за пресвачење	95,31	LED	18	25 (20+5A)	900
		Халогена	35	30	1050
		Флуоресцентна	26	24 (21+3A)	1248
		Флуоресцентна	8	8	64
Централна гардероба	136,1	Флуоресцентна	26	18 (16+2A)	936

Мушки санитарни чвор	80,99	Флуоресцентна	26	12 (9+3A)	614
		Флуоресцентна	36	11	385
		Флуоресцентна	8	3	24
Женски санитарни чвор	45,42	Флуоресцентна	26	15 (12+3A)	780
		Флуоресцентна	8	3	24
		Флуоресцентна	36	5	175
Претпростор	58,16	Флуоресцентна	26	20 (16+4A)	1040
		Флуоресцентна	6	8	48
Свлачионица-гардероба	39,43	Флуоресцентна	26	9 (8+1A)	468
		Флуоресцентна	8	1	8
Санитарни чвор	16,84	Флуоресцентна	26	7 (6+1A)	364
		Флуоресцентна	8	2	16
Свлачионица-гардероба	32,76	Флуоресцентна	26	8 (7+1A)	416
		Флуоресцентна	8	1	8
Санитарни чвор	16,50	Флуоресцентна	26	7 (6+1A)	364
		Флуоресцентна	8	2	16
Свлачионица-гардероба	28,45	Флуоресцентна	26	12 (10+2A)	312
		Флуоресцентна	8	1	8
Санитарни чвор	11,57	Флуоресцентна	26	12 (11+1A)	624
		Флуоресцентна	8	2	16
Свлачионица-гардероба	35,85	Флуоресцентна	26	9 (8+1A)	234
		Флуоресцентна	8	1	8
Санитарни чвор	11,57	Флуоресцентна	26	12 (11+1A)	624
		Флуоресцентна	8	2	16
Судије	18,49	Флуоресцентна	26	6 (2+4A)	312
		Флуоресцентна	8	1	8
Просторија за контролу допинга	7,6	Флуоресцентна	26	2 (2A)	104
		Флуоресцентна	8	1	8
Ниво спрата					
Простор за посетиоце	199,97	Флуоресцентна	58	12 (10+2A)	1392
		Флуоресцентна	8	1	8
Мушки санитарни чвор	25,11	Флуоресцентна	26	13 (11+2A)	676
		Флуоресцентна	8	2	8

Претпростор	4,42	Флуоресцентна	26	2(1+1A)	104
		Флуоресцентна	8	1	18
Женски санитарни чвор	23,81	Флуоресцентна	26	11 (10+1A)	572
		Флуоресцентна	8	2	16
Помоћна просторија	4,11	Флуоресцентна	26	2	104
Гардероба	30,89	Флуоресцентна	26	6 (5+1)	312
Новинарска лежа	28,45	Флуоресцентна	26	11	572
Соба обезбеђења	10,53	Флуоресцентна	26	4	208
Кафе ресторан	308,77	Флуоресцентна	58	23 (19+4A)	2668
		Флуоресцентна	8	4	32
		Инкадесцентна	5	60	226
Гасна котларница					
Гасна котларница		Флуоресцентна	36	4	144
		Флуоресцентна	8	2	16

*лампе са светиљкама снаге 58 W, 26 W и 18 W садрже 2 светиљке, док лампе са светиљкама снаге 14 W садрже 4 светиљке.

Прилог 3.

Попис пумпи и вентилатора са номиналном снагом и

Намена	Номинална снага [kW]	Дневна ангажованост [h]	Годишња потрошња [kWh]
Пумпе			
Праћење притиска хидратанске мреже	2,2	24	19272
СТВ	0,185	24	1620,6
Бојлер 1	0,11	24	963,6
Грејачи клима коморе	0,585	24	5124,6
Ваздушно грејање и радијаторске завесе	0,96	24	8409,6
Подно грејање	0,96	24	8409,6
Измењивач топлоте	0,96	24	8409,6
Пумпе грејача	0,185	24	1620,6
Филтрациона	11	24	96360
Филтрациона	11	24	96360
Филтрациона	11	0	0
Филтрациона	11	0	0
Препумпавање	5,5	24	48180
Узорковање	0,5	24	4380
Дозирање	4,8	8,5	14892
Котловске	1,1	24	9636
Вентилатори			
Вентилатор (дозирање)	0,37	24	3241,2
Вентилатор (елоксирање)	0,37	24	3241,2
Вентилатор убацивање	1,5	24	13140
Вентилатор одсис (Свлачионице)-тушеви	0,12	24	1051,2
Вентилатор одсис (Свлачионице)-тоалети	0,12	24	1051,2
Клима коморе	15	24	131400