

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Даљинско грејање и снабдевање гасом

Број индекса: 927/2014

Никола Б. Милутиновић

**Примена гасног мотора са унутрашњим
сагоревањем као когенеративне јединице за
подмиривање потреба за електричном и
топлотном енергијом једног студентског дома**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Новак Николић, доцент - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да објасни могућности примене когенеративне јединице мотора са унутрашњим сагоревањем који користи природни гас за потребе припреме потрошне топле воде анализираног студентског дома. Поред основног наведеног задатка, кандидат треба детаљно да опише: појам когенерације, анализирани објекат (студентски дом), распоред потрошње потрошне топле воде у оквиру објекта, начин функционисања мотора са унутрашњим сагоревањем, примењену когенеративну јединицу и добијене резултате након симулације рада система.

Препоручена литература:

- [1] Darrow, K., Tidball, R., Wang, J., Hampson, A., *Catalog of CHP Technologies*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 2017.
- [2] Choustoulakis, P., Malamatenios, C., Grepmeier, K., Babeck, A., Moller, C., *Training Guide on Combined Heat & Power Systems*, CRES & ZREU, 2001.
- [3] Knight, I., Ugursal, I., *Residential Cogeneration Systems: A Review of The Current Technologies*, Energy Technology and Programmes Sector - Department of Natural Resources Canada, Ottawa, 2005.

Крагујевац, октобар 2018.

Др Новак Николић, доцент - ментор

Резиме

У овом раду анализирана је примена гасног мотора са унутрашњим сагоревањем као когенеративне јединице за подмиривање потреба за електричном и топлотном енергијом једног студентског дома. Произведена топлотна енергија се користи за припрему топле потрошне воде (ПТВ), док се произведена електрична енергија користи за рад електричних уређаја и осветљења. У раду су анализирана три сценарија припреме ПТВ: помоћу гасног мотора са догрејачем на природни гас (сценарио 1); искључиво помоћу гасног грејача (сценарио 2) и искључиво помоћу електричног грејача (сценарио 3). Рад свих система припреме ПТВ симулиран је у софтверу EnergyPlus. При поређењу сценарија 1 и 2 период отплате когенеративне јединице износи 14,7 год. С друге стране, при поређењу сценарија 1 и 3 период отплате износи 3 год.

Кључне речи: Когенерација, мотор са унутрашњим сагоревањем, топла потрошна вода.

Abstract

In this paper the application of a gas internal combustion engine as a cogeneration unit for recovering the demands for electrical and thermal energy of a student dormitory was analyzed. The produced heat is used for the preparation of domestic hot water (DHW), while the generated electricity is used for the operation of electrical appliances and lighting. In the paper three scenarios of DHW preparation was analyzed: using the gas engine and gas reheater (scenario 1); using only the gas water heater (scenario 2) and using only the electric water heater (scenario 3). The operation of all systems for DHW preparation was simulated in the EnergyPlus software. When comparing scenarios 1 and 2, the payback period for the cogeneration unit is 14,7 years. On the other hand, when comparing scenarios 1 and 3, the payback period is 3 years.

Keywords: Cogeneration, internal combustion engine, domestic hot water.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Когенерација	2
2.1. Значај когенеративних система.....	3
2.2. Преглед когенеративних технологија.....	4
2.3. Режији рада когенеративних система	9
2.4. Израчунавање и поређење ефикасности когенеративног постројења и одвојене производње топлотне и електричне енергије	11
2.5. Емисије штетних гасова у атмосферу.....	14
2.6. Когенерација у стамбеном сектору.....	16
2.7. Feed-in тарифе у Србији.....	19
3. Студентски дом.....	21
3.1. Изометријски приказ приказ и опис студентског дома	21
3.2. Основе објекта са распоредом просторија	23
3.3. Конструкција објекта	26
3.4. Локација и услуге студентског дома	27
4. Распоред потрошње ПТВ	28
4.1. Распоред потрошње ПТВ у ресторану.....	28
4.2. Распоред потрошње ПТВ у купатилу	29
4.3. Распоред потрошње ПТВ у кухињи.....	30
4.4. Распоред потрошње ПТВ у перионици	33
2.5. Укупна потрошња ПТВ у студентском дому.....	34
5. Мотори са унутрашњим сагоревањем	36
5.1. Примена СУС мотора.....	37
5.1.1. Комбинована производња топлотне и електричне енергије.....	37
5.1.2. Генератори за приправност и хитне случајеве	38
5.1.3. Вршно оптерећење	38
5.2. Опис технологије СУС мотора.....	39
5.2.1. Основни процеси	39
5.2.2. Компоненте СУС мотора.....	40
5.2.2.1. Otto мотори	40
5.2.2.2. Diesel мотори	42
5.2.2.3. СУС мотори са комбинацијом два горива	43
5.2.2.4. Рекуперација топлоте.....	43
5.3. Перформансе СУС мотора.....	45

5.3.1. Перформансе при делимичном оптерећењу	46
5.3.2. Утицај околних услова на перформансе	47
5.3.3. Инвестициони трошкови	47
5.3.4. Одржавање и трошкови одржавања	48
6. Когенеративна јединица	50
6.1. Опис когенеративне јединице	50
6.2. EnergyPlus.....	52
6.3. Једначине коришћеног математичког модела гасног мотора као когенеративне јединице.....	56
7. Резултати и поређење резултата	58
7.1. Поређење сценарија 1 и 2	59
7.2. Поређење сценарија 2 и 3	62
7.3. Поређење сценарија 1 и 3	64
8. Закључак.....	66
9. Литература	67

1. Увод

Когенерација или СНР (Combined Heat and Power) је процес који омогућује симултану производњу електричне и топлотне енергије из једног енергента са циљем постизања значајног увећања свеукупне ефикасности трансформације примарне енергије. Комбинована производња топлотне и електричне енергије или когенерација, је у свету прихваћен, признат и атрактиван начин производње електричне и топлотне енергије, због својих ниских инвестиционих трошкова, краћег периода градње, смањења потрошње горива и загађења околине.

Основни разлози примене система когенерације су брзи пораст потражње електричне енергије, с тим повезани захтеви за финансирање градње нових електрана, као и алармантна брига због пораста штетних гасова везаних за производњу енергије.

Паралелно уз смањење потрошње фосилног горива, когенерација омогућује редукцију емитовања штетних гасова (посебно емисију CO_2) на јединицу произведене енергије. Обзиром да је производња електричне енергије на месту потрошње, смањују се трошкови везани за електричну мрежу комуналног електродистрибутивног предузећа, а трошкови губитака у мрежи су елиминисани.

У зградама намењеним боравку и раду људи неопходан технички систем, поред система грејања, хлађења, вентилације и климатизације, јесте и систем за припрему потрошне топле воде. У зависности од намене зграде разликује се и потреба за потрошњом топле воде, што утиче и на избор самог система.

СУС мотори су погодни за различиту примену и користе се у индустријским, комерцијалним и институционалним објектима за производњу електричне енергије и когенерацију. СУС мотори се покрећу брзо, добро прате оптерећење, имају добру ефикасност при делимичном оптерећењу и углавном су високе поузданости.

Тема овог рада је анализа примене когенеративне јединице мотора са унутрашњим сагоревањем који користи природан гас за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије за потребе студентског дома. Произведена количина топлотне енергије се користи за припрему ПТВ за потребе студентског дома, док се произведена електрична енергија користи за задовољавање потреба студентског дома за електричном енергијом. Вишак произведене електричне енергије се продаје дистрибутивном предузећу. Приоритет когенеративне јединице је задовољавање потреба за топлотном енергијом.

У раду ће бити анализирана и поређена три сценарија, односно начина припреме ПТВ:

- Помоћу когенеративног гасног мотора са догрејачем на природни гас;
- Помоћу искључиво гасног грејача и
- Помоћу искључиво електричног грејача.

2. Когенерација

Комбинована производња топлоте и електричне енергије (CHP - Combined Heat and Power) је ефикасан и еколошки чист приступ производњи електричне енергије и корисне топлотне енергије из једног извора горива. Когенеративно постројење се поставља на локацији или близу локације крајњег корисника, тако да се топлота ослобођена током процеса производње електричне енергије може користити за задовољавање топлотних захтева корисника, док произведена електрична енергија задовољава све или део потреба за електричном енергијом на локацији.

Локације са константном, стабилном потражњом за електричном и топлотном енергијом су потенцијално добре економске прилике за постављање когенеративних постројења. Индустијске примене, нарочито у индустријама са континуираном прерадом и високим захтевима за паром, су веома економичне и данас представљају велики део постојећих капацитета когенеративних јединица. Комерцијалне установе као што су болнице, домови здравља, вешернице и хотели са великим потребама за топлотом водом су погодне за примену когенеративних постројења. Такође, погодне су и институционалне установе попут факултета, школа, затвора, стамбених и рекреативних објеката, итд.

Директне предности комбиноване производње топлоте и електричне енергије за власнике објеката су:

- Смањени трошкови везани за енергију - обезбеђују директну уштеду трошкова;
- Повећана поузданост и смањен ризик од прекида напајања због додавања независног извора напајања и
- Повећана економска конкурентност због смањења трошкова пословања.

Поред ових директних предности, електрична индустрија, потрошачи електричне енергије и друштво уопште имају користи од примене когенерације, укључујући следеће:

- Повећана енергетска ефикасност - обезбеђивање енергетских потреба објектима са мањим улазом примарне енергије;
- Вредност економског развоја - омогућава предузећима да буду економски конкурентни на глобалном тржишту, чиме се одржава локално запошљавање и економско здравље;
- Смањење емисија које доприносе глобалном загревању - повећана ефикасност коришћења енергије омогућава објектима да постигну исте нивое производне или пословне активности са нижим нивоима сагоревања фосилних горива и смањене емисије угљен-диоксида;
- Смањене емисије загађења ваздуха - когенеративни системи могу смањити емисије угљен-моноксида (CO), натријум-оксида (NO_x) и сумпор-диоксида (SO₂) у ваздух, посебно када најсавременија когенеративна опрема замењује застареле и неефикасне котлове;
- Повећана поузданост и мрежна подршка систему комуналних услуга и купаца у целини и

- Адекватност ресурса - смањена потреба за изградњом регионалне електране и изградњом преносне и дистрибутивне инфраструктуре.

Когенеративни системи се састоје од више појединачних компоненти: главног покретача (топотног мотора), генератора, рекуператора топлоте и електричног интерконектора, конфигурисаних у интегрисану целину. Тип опреме која погони целокупни систем (тј. главни покретач) обично идентификује когенеративни систем. Покретање ових система може се обезбедити преко:

- СУС мотора;
- Гасне турбине;
- Парне турбине;
- Микротурбине и
- Горивих ћелија [1].

2.1. Значај когенеративних система

Ако се претпостави да је когенеративно постројење оптимизовано на најбољи начин (димензионисано на основу топлотних захтева), могуће је остварити следеће користи:

- Повећање ефикасности трансформације и коришћења енергије односно уштеда примарне енергије;
- Смањење емисије штетних гасова у околину, посебно CO₂ (најважнији гас који проузрокује додатни ефекат стаклене баште);
- Велике економске уштеде;
- Коришћење биомасе и различитих отпадних материјала;
- Децентрализацију производње електричне енергије и смањење губитака у електродистрибутивној мрежи и
- Повећање конкурентности на тржишту електричне енергије и повећање сигурности снабдевања енергијом.

Као што је већ наведено, основна техничка предност когенеративних система јесте ефикасније коришћење горива у производњи електричне и топлотне енергије. Мање горива је потребно за производњу одређене количине електричне и топлотне енергије у когенеративном постројењу него што је потребно за генерисање исте количине оба типа енергије са конвенционалном, одвојеном. Разлог је што се највећи део отпадне топлоте која се генерише у конвенционалним постројењима за производњу електричне енергије у когенеративним користи као корисна топлота (нпр. технолошка пара).

Техничке предности когенерације доводе и до значајних еколошких предности. Повећање ефикасности и одговарајуће смањење потрошње горива у когенеративним системима, у поређењу с осталим конвенционалним процесима за производњу топлотне и електричне енергије, обично доводи и до значајних смањења емисије гасова стаклене баште. Ова смањења могу бити и до 50% у неким случајевима, уз остварење истих количина топлотне и електричне енергије.

Когенеративни системи у већини случајева имају економску предност у односу на одвојену производњу топлотне и електричне енергије. У осталим случајевима, оперативни трошкови когенерације и одвојене производње су слични, али друге, претходно наведене, предности (смањење потрошње горива и емисије) могу да омогуће когенерацији да буде у предности. У неким случајевима у когенеративним системима може као гориво да се користи биомаса и неки отпадни материјали (процесни и пољопривредни отпад, отпадни гасови из рафинерије, итд.). Коришћењем ових материјала као горива у когенеративним системима повећава се исплативост и смањује потреба за одлагањем отпада [2].

2.2. Преглед когенеративних технологија

Пет технологија чине 97% когенеративних пројеката. У табели 1 приказани су разлози за сваку технологију у зависности од главног покретача.

Табела 1. *Инсталирани когенеративни системи у САД-у и њихов капацитет [1]*

Главни покретач	Локације	Проценат локација [%]	Капацитет [MW]	Проценат капацитета [%]
СУС мотор	2194	51,9	2288	2,7
Гасна турбина*	667	15,8	53320	64
Парна турбина	734	17,4	26741	32,1
Микротурбина	355	8,4	78	0,1
Гориве ћелије	155	3,7	84	0,1
Остало	121	2,9	806	1
Укупно	4226	100	83317	100

* укључујући комбиновани циклус гасне/парне турбине

Све поменуте технологије претварају хемијско гориво у електричну енергију. Енергија у гориву која се не претвара у електричну енергију ослобађа се као топлота. Све технологије, осим горивих ћелија, представљају класу технологија познатих као топлотни мотори. Топлотни мотори сагоревају гориво за производњу топлоте, а део те топлоте се користи за производњу електричне енергије, док је преостала топлота испушта из процеса. Гориве ћелије електрохемијски претварају енергију из горива у електричну енергију. Међутим, још увек постоји неефикасност у овом процесу конверзије, у којем се производи топлота која се може користити за когенерацију.

СУС мотори (мотори са унутрашњим сагоревањем), као што је већ приказано у табели 1, чине више од половине когенеративних система, мада, због обично мањих капацитета, чине мање од 3 % укупног капацитета. Користе се за аутомобиле, камионе, возове, системе за хитне случајеве, преносне системе снаге, фарме, баште, итд. СУС

мотори могу да се крећу у величини од мале ручне опреме до циновских поморских мотора који производе еквивалентну електричну енергију за снабдевање 18 000 дома.

Технологија СУС мотора се развија више од 100 година. Високи нивои производње чине СУС моторе поузданом опцијом са ниским трошковима. Побољшања СУС мотора у последњих 30 година омогућила су овој технологији да држи корак са вишом ефикасношћу и смањеним емисијама штетних продуката. Карактеристике издувних гасова код СУС мотора чине их идеалним за производњу топле воде.

Системи са **парном турбином** представљају 32 % инсталираних когенеративних постројења у САД-у. Међутим, средња старост ових инсталација је 45 година. Данас се парне турбине углавном користе за системе који се упарују са котловима на чврста горива, индустријском отпадном топлотом или отпадном топлотом из гасне турбине (што представља комбиновани циклус).

Парне турбине нуде широк спектар дизајна и сложености како би се подударале са жељеном применом и перформансама које се крећу од једнофазних противпритисних или кондензационих турбина ниске снаге до сложених вишефазних турбина за веће опсеге снага. Парне турбине за комуналне услуге могу садржати одређене додатке уграђене ради повећања ефикасности система. За индустријске примене, парне турбине имају углавном једноставнији дизајн кућишта и мање су компликоване због поузданости и трошкова. Когенерација се може прилагодити како комуналним, тако и индустријским конструкцијама парне турбине.

Гасне турбине, како је приказано, чине преко 60 % капацитета когенеративних система. То је иста технологија која се користи у млазним авионима. Многе гасне турбине на аеро гориво које се користе у стационарној примени су верзије аеро мотора. Гасне турбине могу бити израђене у широком спектру величина од микротурбина до врло великих турбина које се користе за производњу велике количине електричне енергије.

За примену когенеративних постројења, њихов најекономичнији распон примене је већи од 5 MW, а величине се крећу до неколико стотина MW. Висока температура из издувних гасова турбине може се користити за производњу паре високог притиска, чинећи системе когенерације са гасном турбином веома атрактивним за процесну индустрију.

Микротурбине, као што је већ речено, су врло мале гасне турбине. Оне су развијене као стационарни и транспортни извори енергије у последњих 30 година. Засноване су на технологији турбокомпресора камиона који користи енергију издувне гране мотора како би компримовао улазни ваздух мотора.

Микротурбине су „чисте“, механички једноставне и веома компактне. Током деведесетих година постојао је велики број конкурентних система. Данас, након периода консолидације на тржишту, постоје два произвођача у комерцијалним системима САД-а за коришћење когенерације са капацитетима од 30 - 250 kW за појединачне турбине и са вишеструким турбинама доступним до 1000 kW.

Гориве ћелије користе електрохемијски или „батеријски“ процес за претварање хемијске енергије водоника у воду и електричну енергију. У когенеративним применама горивих ћелија, топлота се генерално добија у облику топле воде или паре под ниским притиском ($< 2 \text{ bar}$), а квалитет топлоте зависи од врсте гориве ћелије и њене радне температуре. Гориве ћелије користе водоник, који се може добити од природног гаса, гаса угља, метанола и других угљоводоничних горива.

Гориве ћелије се карактеришу врстом коришћеног електрохемијског процеса, а постоји и неколико типова као што су метода фосфорне киселине, мембранска размене протона, метода растопљеног карбоната, метода чврстих оксида и алкална метода. Системи фосфорне киселине су комерцијално доступни у две величине, 200 kW и 400 kW, а системи мембранске размене протона су комерцијално доступни у 300 kW и 1 200 kW. Основни трошкови горивих ћелија остају високи услед слабо прилагођених метода производње, али потражња за применама у когенеративним постројењима им не опада због ниских емисија у ваздух, мале буке и великодушног тржишта субвенција.

Табела 2 и табела 3 пружају резиме кључних трошкова и карактеристика перформанси описаних когенеративних технологија.

У табели 3 електрична ефикасност (HHV) парне турбине знатно варира јер је ефикасност електричне енергије на излазу ниска за мале противпритисне турбине са котлом, а висока за велике суперкритичне кондензационе парне турбине.

Табела 2. Преглед предности и недостатака когенеративних технологија [1]

CHP систем	Предности	Недостаци	Величине
Otto мотори	- Висока енергетска ефикасност са делимично оптерећеном функционалном флексибилношћу - Брзо покретање	- Високи трошкови одржавања - Ограничени на примену нискотемпературне когенерације	Од 1 kW до 10 MW
Diesel мотори	- Релативно ниски инвестициони трошкови - Добро оптерећење пратећих могућности - Могу се ремонтовати на лицу месту са нормалним оператерима - Раде на гас под ниским притиском	- Релативно високе емисије штетних гасова у атмосферу - Захтевају хлађење чак и ако се произведена топлота не користи - Високи нивои буке са ниском фреквенцијом	Висока брзина (1,200 rpm) $\leq 4\text{MW}$ $< 80\text{ MW}$ за мале брзине (60-275 rpm)
Парна турбина	- Висока укупна ефикасност (пара у електричну енергију) - Може се повезати на котлове који троше различита гасовита, течна или чврста горива - Дуг радни век и висока поузданост - Однос електричне енергије и топлоте се може мењати	- Споро покретање - Веома мали однос електричне енергије и топлоте - Захтева котао или други извор паре	Од 50 kW до неколико хиљада MW
Гасна турбина	- Висока поузданост - Ниске емисије штетних гасова - Доступан висок степен топлоте - Није потребно хлађење	- Захтева високопритисни гасни компресор - Лоша ефикасност при малом оптерећењу - Учинак опада са растом температуре амбијента	Од 500 kW до 300 MW
Микротурбина	- Мали број покретних делова - Компактна величина и мала тежина - Ниске емисије издувних гасова - Није потребно хлађење	- Високи трошкови - Релативно ниска механичка ефикасност - Ограничене на примену нискотемпературне когенерације	Од 30 kW до 250 kW, са више јединица у пакету до 1000 kW
Гориве ћелије	- Ниска емисија штетних гасова и мала бука - Висока ефикасност у опсегу оптерећења - Модуларни дизајн	- Високи трошкови - Горива захтевају прераду осим ако се не користи чист водоник - Осетљивост на нечистоће горива - Ниска густина електричне енергије	Од 5 kW до 2 MW

Табела 3. Упоредивање параметара величине, трошкова и перформанси когенеративних технологија [1]

Технологија	СУС мотор	Парна турбина	Гасна турбина	Микротурбина	Гориве ћелије
Електрична ефикасност (HHV)	27 - 41 %	5 - 40+ %	24 - 36 %	22 - 28 %	30 - 63 %
Укупна ефикасност когенерације (HHV)	77 - 80 %	Приближно 80%	66 - 71 %	63 - 70 %	55 - 80 %
Ефективна електрична ефикасност	75 - 80 %	75-77%	50 - 62 %	49 - 57 %	55 - 80 %
Типичан капацитет (MW)	0,005 - 10	0,5 - неколико стотина MW	0,5 - 300	0,03 - 1	200 - 2,8 комерцијалне когенерације
Типичан однос електричне и топлотне енергије	0,5 - 1,2	0,07 - 0,1	0,6 - 1,1	0,5 - 0,7	1 - 2
Делимично оптерећење	Осредње	Осредње	Слабо	Осредње	Добро
Цена инсталирања ког. јединице (\$/kW)	1500 - 900	670 - 1100	1200 - 3300 (5 - 40 MW)	2500 - 4300	5000 - 6500
Трошкови рада и одржавања (без горива) (\$/kWh)	0,009 - 0,025	0,006 до 0,01	0,009 - 0,013	0,009 - 0,013	0,032 - 0,038
Доступност	96 - 98 %	72 - 99 %	93 - 96 %	98 - 99 %	> 95 %
Часови рада до ремонта	30000 - 60000	> 50000	25000 - 50000	40000 - 80000	32000 - 64000
Време покретања	10 секунди	1 h - 1 дан	10 мин - 1 h	60 секунди	3 h - 2 дан
Притисак горива (bar)	0,07 - 5	/	7 - 35 (компресор)	3,5 - 9,5 (компресор)	0,35 - 3,1
Горива	Природни гас, биогаз, течни нафтни гас, кисели гас, индустријски отпадни гас, индустријски гас	Сва	Природни гас, синтетички гас, депонијски гас и лож уља	Природни гас, кисели гас, течна горива	Водоник, природни гас, пропан, метанол
Коришћење топлотног излаза	Грејање простора, топла вода, хлађење, пара ниског притиска	Процесна пара, централно грејање, топла вода, расхлађена вода	Топлота, топла вода, пара ниског и високог притиска	Топла вода, хладњак, грејање	Топла вода, пара ниског и високог притиска
Густина електричне енергије (kW/m ²)	35 - 50	> 100	20 - 500	5 - 70	5 - 20
NO _x (kg/MWh) (без селективне каталитичке редукције)	0,02 „богато“ сагоревање; 0,26 „лако“ сагоревање	Гас 0,15-0,3 Дрво 0,3-0,8 Угаљ 0,5-1,9	0,056 - 0,077	0,023 - 0,056	0,0039-0,0062
NO _x (kg/MWh) (без селективне каталитичке редукције)	0,09 „богато“ сагоревање 1,24 „лако“ сагоревање	Гас 0,64-1,24; Дрво 1,4-2,17; Угаљ 1,9 - 7,7	0,8 - 2	0,22 - 0,76	0,017 - 0,025

2.3. Режи́ми рада когенеративних система

Начин рада когенеративног постројења је карактерисан подешавањем односа електричног и топлотног излаза система когенерације. Постоје различити начини рада, од којих су најчешћи следећи:

- **Топлотна енергија као приоритет:** Излаз корисне топлотне енергије когенеративног система у било ком тренутку једнак је топлотном оптерећењу (без прекорачења капацитета когенеративног система). Ако је произведена електрична енергија већа од оптерећења, електрична енергија се предаје (продаје) мрежи, а ако је нижа, преостала потребна струја се узима (купује) са мреже.
- **Подударност базног топлотног оптерећења:** Овде је систем за когенерацију димензионисан да би обезбедио минималну потребу за топлотном енергијом локације. Котлови за приправност или горионици користе се у периодима када је потреба за топлотом већа. Инсталирани главни покретач ради све време. Ако потражња за електричном енергијом на локацији прелази ону коју може да обезбеди главни покретач, онда се преостала количина може купити из мреже. Исто тако, ако локални закони дозвољавају, вишак електричне енергије може се продати електричном предузећу.
- **Електрична енергија као приоритет:** Генерисана електрична енергија у било ком тренутку је једнака електричном оптерећењу (без превазилажења капацитета когенеративног система). Ако је топлотна енергија нижа од топлотног оптерећења, помоћни котао допуњује до потребне количине, а ако је виша, вишак топлоте се одводи у околину кроз хладњаке или издувне гасове.
- **Подударност базног електричног оптерећења:** У овој конфигурацији, когенеративно постројење је димензионисано тако да задовољи минималну потражњу за електричном енергијом на локацији на основу криве оптерећења. Остатак потребне енергије се купује из комуналне мреже. Потреба за топлотном енергијом на локацији би могла бити задовољена само системом когенерације или помоћу додатних котлова. Ако топлотна енергија, која је генерисана овим режимом, превазилази потребу електране и ако ситуација то дозвољава, вишак топлотне енергије може се извозити суседним купцима.
- **Режим мешовите подударности:** У одређеним временским интервалима следи режим топлотне подударности, док се у другим периодима прати режим електричне подударности. Одлука се заснива на разматрањима као што су ниво оптерећења, цена горива и тарифа за електричну енергију у одређеном дану и времену.
- **Самостални режим:** Постоји потпуна покривеност електричног и термичког оптерећења у било ком тренутку без икакве везе са мрежом. Овај режим захтева да систем има резервне електричне и топлотне капацитете, тако да у случају да јединица не користи из било ког разлога, преостале јединице имају могућност покривања електричног и термичког оптерећења. То је најквалитетнија стратегија, барем са становишта почетних трошкова система.

Уопштено, режим топлотног приоритета резултира највећом стопом искоришћења горива (односом штедње горива - FESR) и можда најбољим економским перформансама за когенерацију у индустријском и стамбеном сектору. У комуналном сектору, начин рада зависи од укупног оптерећења мреже, расположивости електране и обавезна комуналног сектора према својим потрошачима у погледу снабдевања електричним енергијом и топлотом.

Међутим, примена општих правила није најомиљенији приступ у когенерацији. Свака примена има своје посебне карактеристике. Постоје различити системи когенерације (према типу технологије, величини, конфигурацији).

Дизајн когенеративног система може бити прилагођен потребама корисника, може утицати на могуће начине рада и обрнуто. Технички и економски параметри могу се мењати са даном и временом током рада система.

Сви ови аспекти захтевају доношење одлука не само правилима, већ систематским процедурама оптимизације, заснованим на математичком програмирању, како за пројектовање тако и за функционисање система. За рад система когенерације, посебно су на располагању системи контроле засновани на микропроцесору. Они могу пружити могућност рада у режиму базног оптерећења, да прате електрична или топлотна оптерећења, или да раде у режиму економске експозиције (режим мешовите подударности).

У другом режиму, микропроцесор се може користити за праћење перформанси система когенерације, укључујући:

- Ефикасност система и расположиву корисну топлоту;
- Електричне и топлотне захтеве корисника, количину вишка електричне енергије која мора бити извезена у мрежу, количину топлоте која мора бити одведена у околину и
- Трошкове купљене електричне енергије и вредности продаје електричне енергије, јер се могу разликовати од времена дана, дана у недељи или сезоне.

Употребом поменутих података, микропроцесор може одредити који је режим рада најефикаснији, чак и да ли се уређај искључује. Поред тога, могуће је одређивање праћењем оперативних параметара као што су ефикасност, радни сати, температура издувних гасова, температура хладњака итд.

Микропроцесор може помоћи у планирању одржавања. Ако је систем без надзора, микропроцесор се може повезати са даљинским центром за праћење, где рачунарска анализа података може обавестити квалификовано особље о предстојећој потреби за планираним или непланираним одржавањем. Поред тога, као део система за прикупљање података, микропроцесор може да генерише извештаје о техничком и економском учинку система [3].

2.4. Израчунавање и поређење ефикасности когенеративног постројења и одвојене производње топлотне и електричне енергије

Многе предности когенерације произлазе из релативно високе ефикасности когенеративних система у поређењу са другим системима. Будући да когенеративни системи истовремено производе електричну енергију и корисну топлотну енергију, ефикасност когенерације се мери и изражава на више различитих начина.

Ефикасност производње електричне енергије у системима с ограниченом енергијом одређује се односом између нето електричне енергије и количине горива коришћеног за производњу електричне енергије. Стопа топлоте, израз који се често користи за изражавање ефикасности у таквим системима за производњу електричне енергије, представљен је као количина енергије потрошеног горива по kWh произведене електричне енергије. Међутим, когенеративна постројења производе и корисну топлоту поред електричне енергије.

У когенеративним системима, укупна ефикасност когенерације настоји да усклади енергетски садржај електричне енергије и топлоте и представља нето електричну излазну вредност плус нето корисну топлотну снагу когенеративног система подељеног у односу на гориво који се троши за производњу електричне енергије и паре. Иако укупна ефикасност когенерације пружа меру за одређивање енергетског садржаја електричне енергије и произведене топлоте, она не одражава довољно чињенице да електрична енергија и топлота имају различите квалитете.

Квалитет и вредност електричне енергије је већи у односу на добијену топлоту и то доказује чињеница да се електрична енергија може пренети на велике удаљености и може се претворити у друге облике енергије. Да би се узеле у обзир ове разлике у квалитету, Закон о регулаторним политикама јавних комуналних предузећа из 1978. године (PURPA) смањује половину топлотне енергије у свом израчунавању стандарда ефикасности (EFF_{FERC}). Стандард ефикасности је представљен као однос нето добијене електричне енергије плус половина нето добијене топлотне енергије и укупног горива које се користи у когенеративном систему.

Друга дефиниција ефикасности когенерације је ефективност електричне ефикасности, такође позната као ефикасност коришћења горива. Ова мера изражава ефикасност когенерације као однос нето електричне енергије по нето потрошњи горива, при чему нето потрошња горива искључује део горива који иде у производњу корисне топлотне енергије. Ефикасност коришћења горива узима вредност и електричних и топлотних излаза когенеративних постројења и специфично мери ефикасност генерисања електричне енергије кроз постепену потрошњу горива у когенеративном систему.

Агенција за заштиту животне средине сматра уштеду горива као одговарајући термин за коришћење када се дискутује о предностима когенерације у односу на засебне операције производње топлоте и електричне енергије. При уштеди горива се упоређује гориво које користи систем когенерације (CHP - Combined Heat and Power) и одвојен систем генерисања топлотне и електричне енергије (SHp - Separate Heat and Power) [1].

Главна предност примене комбиноване производње електричне и топлотне енергије је већа ефикасност конверзије и употребе енергије горива. У складу с тим, неопходно је дефинисати метод израчунавања уштеде горива. Претпоставља се да когенеративно постројење ради у режиму максималног могућег искоришћења произведене топлотне енергије.

Најједноставнији блок дијаграм једног оваквог постројења приказан је на слици 1. Величине на истој слици су:

F_c - енергија употребљеног горива (J);

E_c - произведена електрична или механичка енергија (J);

H_{CHP} - корисна топлотна енергија (J) и

H_l - укупни енергетски губици (J).



Слика 1. Блок дијаграм когенеративног постројења [4]

Уштеда енергије горива при комбинованој производњи електричне и топлотне енергије ($PES(J)$) се дефинише као:

$$PES = F_H + F_E - F_C$$

где су:

F_H - енергија употребљеног горива при одвојеној производњи топлотне енергије (J) и

F_E - енергија употребљеног горива при одвојеној производњи електричне или механичке енергије (J).

Процентуална уштеда енергије горива ($(PESR(\%))$) се израчунава према:

$$PESR = \frac{PES}{F_H + F_E} \cdot 100 = \frac{F_H + F_E - F_C}{F_H + F_E} \cdot 100$$

Исти параметар је могуће одредити и познавањем вредности степена корисности производње електричне и топлотне енергије при когенеративној и одвојеној производњи. Степени корисности производње електричне (η_E) и топлотне енергије (η_H) при когенеративној производњи се дефинишу као:

$$\eta_E = \frac{E_C}{F_C} \quad \eta_H = \frac{H_{CHP}}{F_C}$$

С друге стране, степени корисности одвојене производње електричне (η_{ER}) и топлотне енергије (η_{HR}) се израчунавају према:

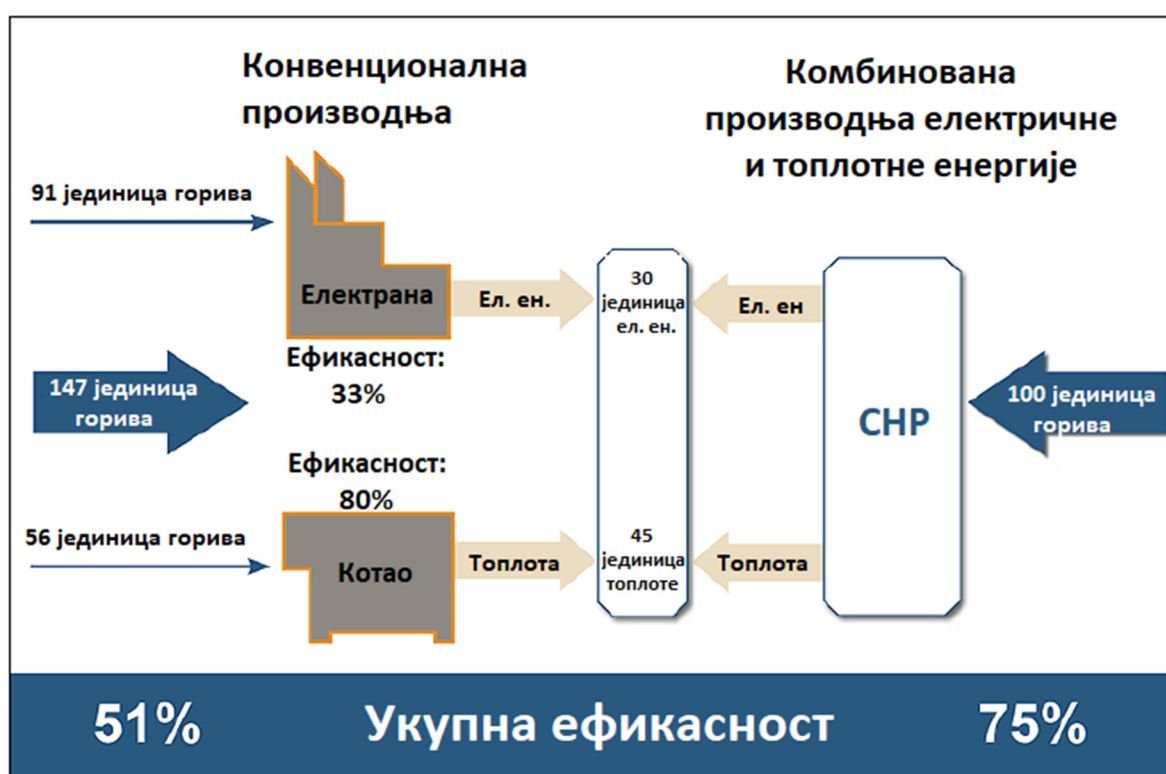
$$\eta_{ER} = \frac{E_C}{F_E} \quad \eta_{HR} = \frac{H_{CHP}}{F_H}$$

Комбинацијом претходно дефинисаних једначина може се извести једначина за израчунавање величине **PESR**:

$$PESR = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_E}{\eta_{ER}} + \frac{\eta_H}{\eta_{HR}}}\right) \cdot 100 \quad [4]$$

Слика 2 показује предност ефикасности когенеративног постројења у поређењу са конвенционалним производњом електричне енергије у котловима. Када се узимају у обзир и термички и електрични процеси, когенерација обично захтева само 3/4 примарне енергије коју захтева систем за одвојено генерисање топлотне и електричне енергије.

Когенеративни системи користе мање горива него одвојена производња топлотне и електричне енергије, а резултат је исти ниво производње, што резултира мањом емисијом штетних гасова у атмосферу.



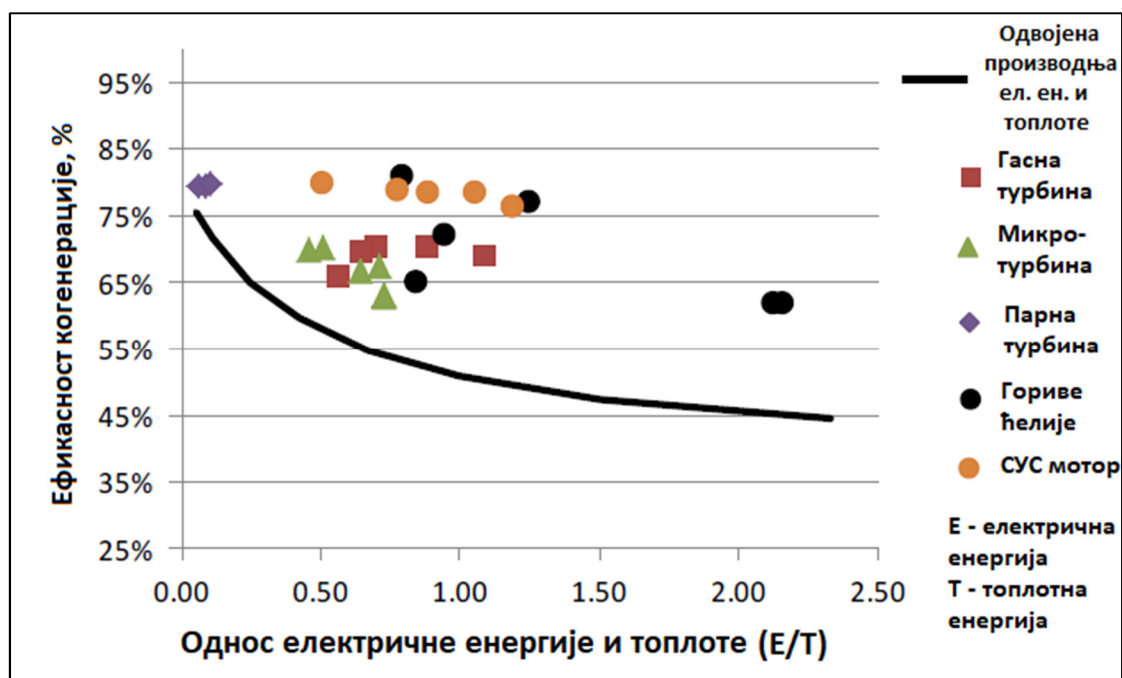
Слика 2. Когенерација наспрам одвојене производње топлотне и електричне енергије [1]

Други важан концепт који се односи на ефикасност когенерације је однос електричне енергије и топлоте. Однос електрична енергија-топлота означава удео енергије (електричне или механичке) за топлотну енергију (пару или топлу воду) произведену у систему когенерације. С обзиром на то да ће ефикасност производње електричне енергије и производње паре знатно бити другачија, однос електричне енергије и топлоте има важан утицај на то како би се укупна ефикасност система когенерације могла упоредити са ефикасношћу у одвојеном систему за производњу електричне енергије и топлоте.

На слици 3 је приказано како се укупна ефикасност когенеративне јединице мења у зависности од односа електричне и топлотне енергије

Укупна топлотна и електрична ефикасност когенерације је већа од одговарајуће ефикасности за одвојену производњу истих у било ком односу електричне енергије и топлоте. Међутим, како је приказано, ефикасност одвојене производње електричне и топлотне енергије варира у зависности од тога колико је производња електричне енергије нижа у односу на топлотну енергију.

При веома ниским односима електричне енергије и топлоте, као што је типично за системе парне турбине, когенерација је изнад линије одвојене производње топлотне и електричне енергије, али само за неколико процентних поена. Како се повећава електрична ефикасност когенеративног система (самим тим и однос E/T), ефикасност когенерације се драматично повећава у односу на одвојену производњу електричне и топлотне енергије.



Слика 3. Ефикасност когенеративне јединице у функцији односа електричне и топлотне енергије [1]

2.5. Емисије штетних гасова у атмосферу

Поред уштеде трошкова, технологије когенерације нуде знатно ниже стопе емисије у поређењу са одвојеним системима производње топлотне и електричне енергије. Примарне загађујуће материје из гасних турбина су оксиди азота (NO_x), угљен-моноксид (CO) и испарљиве органске јединице (VOC_s) (несагорели, неметански угљоводоници). Остали загађивачи као што су оксиди сумпора (SO_x) и чврсте честице (PM) првенствено зависе од коришћеног горива.

Слично томе, емисије угљен-диоксида такође зависе од коришћеног горива. Многе гасне турбине које користе гасовита горива (углавном природни гас) имају горионике који производе емисију NO_x у распону од 0,08 до 0,11 kg/MWh без контроле емисије након сагоревања. Типично комерцијално доступне гасне турбине имају стопе емисије CO између 0,1 kg/MWh и 0,13 kg/MWh. Селективна каталитичка редукција (SCR) или каталитичко сагоревање може даље допринети смањењу емисије NO_x за 80 до 90 % из издувних гасова турбине, а катализатори оксидације угљен-моноксида могу помоћи у смањењу CO за око 90 %. Многе гасне турбине су под строгим прописима о емисији издувних гасова, па морају да користе SCR након третмана како би постигле изузетно ниске емисије NO_x .

Микротурбине имају потенцијал за ниске емисије штетних гасова. Све микротурбине који користе гасовито гориво имају функционалну технологију сагоревања (суве ниске NO_x). Примарни загађивачи из микротурбина укључују NO_x , CO и несагореле угљеводонике. Они такође производе занемарљиву количину CO_2 . Микротурбине су дизајниране да постигну ниске емисије при пуном оптерећењу, а емисије су често веће када раде на делимичном оптерећењу. Типичне емисије NO_x за микротурбинске системе крећу се од 0.04 kg/MWh и 0.09 kg/MWh. Додатно смањење емисије NO_x из каталитичког сагоревања у микротурбинама мало је вероватно да ће се остварити у блиској будућности због сувих ниских NO_x и ниске улазне температуре турбине. Стопа емисије CO за микротурбине се обично креће између 0,03 kg/MWh и 0,24 kg/MWh.

Емисије издувних гасова су примарна еколошка забринутост када су у питању мотори са унутрашњим сагоревањем. Примарни загађивачи код СУС мотора су NO_x , CO и VOC_s . Остали загађивачи као што су SO_x и PM пре свега зависе од коришћеног горива. Садржај сумпора у гориву одређује емисије сумпорних једињења, првенствено SO_2 . Емисије NO_x од малих мотора са интегрисаним троструким третманом катализатора могу бити ниже од 0,03 kg/MWh. Већи мотори имају вредности око 0,36 kg/MWh без третмана издувних гасова. Међутим, ови мотори могу користити SCR за редукцију NO_x .

Емисије парних турбина зависе од горива коришћеног у котлу или других извора паре, дизајна секције сагоревања у котлу, одржавања, и чишћења система за издувне гасове. Емисија котла укључује NO_x , SO_x , PM и CO. Типичне стопе емисије котла за NO_x се налазе у опсегу између 0.46 kg/MWh и 1.92 kg/MWh за угаљ, 0.31 kg/MWh и 0.77 kg/MWh за дрво и 0.15 kg/MWh и 0,31 kg/MWh за природни гас. Неконтролисане стопе емисије CO се крећу од 0,031 kg/MWh до 1,08 kg/MWh за угаљ, око 0,09 kg/MWh за дрво и 0,12 kg/MWh за природни гас. Постоје различите комерцијално расположиве технике снижења емисије NO_x са селективним каталитичким смањењем до постизања редукције од 90 %.

Системи горивих ћелија имају у суштини ниске емисије штетних гасова јер процес генерисања енергије не укључује сагоревање. Подсистем за обраду горива је једини значајан извор емисија, јер претвара гориво у водоник уз низак ниво издувних гасова. Издувни гасови се стварају у процесу добијања топлоте, постижући емисију која

износи мање од 0.01 kg/MWh CO, мање од 0.007 kg/MWh NO_x и занемарљивог SO_x без икаквог накнадног третмана издувних гасова. Гориве ћелије не захтевају уређаје за контролу емисије штетних издувних гасова да би испуниле важеће и предвиђене прописе.

Остали загађивачи као што су SO_x и PM пре свега зависе од коришћеног горива. Технологије когенерације које могу да користе горива која нису природни гас, укључујући моторе са унутрашњим сагоревањем и парне турбине, такође могу имати друге емисије из горива које користе. На пример, садржај сумпора у гориву одређује емисије сумпорних једињења, првенствено SO₂.

Емисије SO₂ код парних турбина зависе углавном од садржаја сумпора у коришћеном гориву у процесу сагоревања. SO₂ садржи око 95 % емитованог сумпора, а преосталих 5% емитују се као сумпорни триоксид (SO₃). Одсумпоравање димних гасова је најчешће коришћена технологија уклањања SO₂ након сагоревања и примењује се за широк спектар различитих начина коришћења. Одсумпоравање димних гасова може обезбедити до 95 % уклањања SO₂.

Емисије CO₂ резултирају употребом когенеративних технологија на бази фосилних горива. Количина CO₂ емитована у било којој од технологија когенерације зависи од садржаја угљеника у гориву и ефикасности система. Садржај угљеника у гориву у природном гасу износи 53 kg(C)/MWh, у нафти 74 kg(C)/MWh и у угљу без пепела је 102 kg(C)/MWh [1].

2.6. Когенерација у стамбеном сектору

Примена когенерације обично се класификује у односу на сектор примене:

- Комунални сектор;
- Индустријски сектор;
- Грађевински сектор (који се зове и стамбено-комерцијално-институционални сектор) и
- Рурални сектор.

Комбинација електричног и топлотног оптерећења са одређеним трајањем, представља добру прилику за примену когенерације у зградама као што су:

- Куће и стамбене зграде;
- Хотели;
- Болнице;
- Школе и универзитети;
- Пословне зграде;
- Трговине, супермаркети, трго-вачки центри;
- Ресторани и
- Базени и центри за слободно време.

Листа наравно није потпуна, и у другим зградама може бити изведена когенерација.

Топлота из когенерације се користи за производњу топле воде, грејање или хлађење простора, перионице, сушаре, грејање воде у базену, итд. Потребна електрична енергија која се захтева у различитим врстама зграда дата је у табели 4.

Табела 4: Типични опсег електричног оптерећења у зградама [5]

Објект	Електрично оптерећење (kW)
Ресторани	50 - 80
Стамбене зграде	50 - 100
Супермаркети	90 - 120
Хотели	100 - 2000
Болнице	300 - 1000
Тржни центри	500 - 1500
Школе и универзитети	500 - 1500
Пословне зграде	500 - 2000

Са становишта захтева за грејање и хлађење могу се идентификовати три подсектора:

- Болнице и хотели;
- Стамбене зграде и
- Пословне зграде.

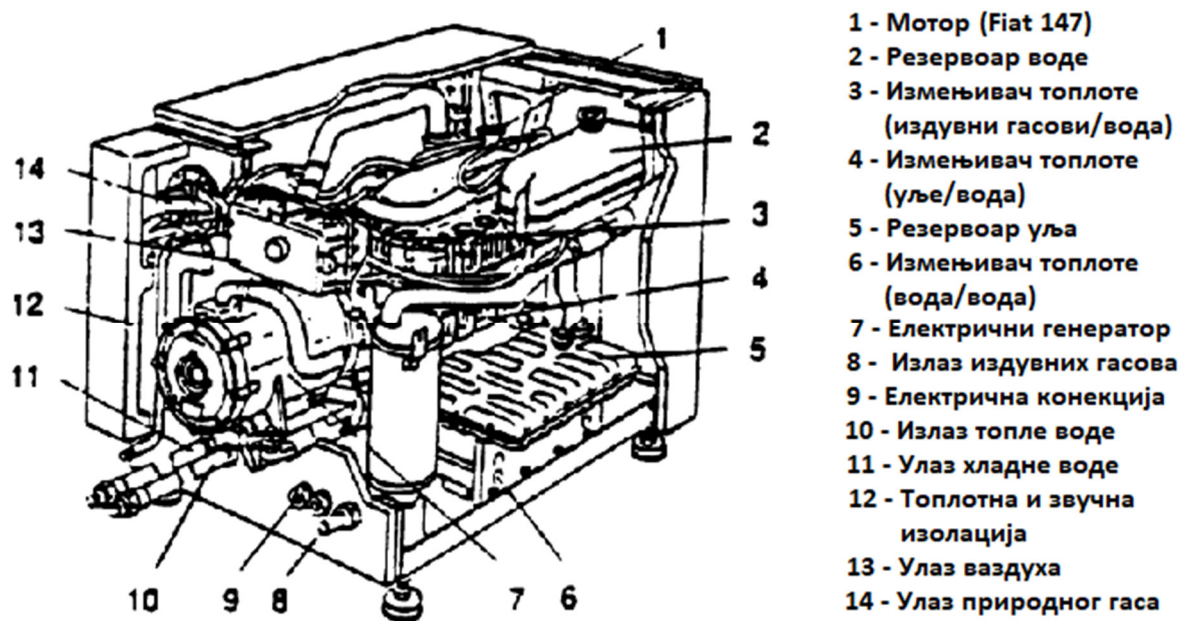
Сваки од ових подсектора има свој профил оптерећења. Друге грађевине (као што су универзитети и продавнице) имају профиле оптерећења које су комбинације профила три подсектора. Крајњи дизајн когенеративног система мора бити заснован на профилима оптерећења одређене зграде. Максималне или средње вредности оптерећења нису довољне, јер могу довести до погрешних резултата и одлука.

Студије изводљивости показале су да у хладним климатским условима, као и у северноевропским земљама, дуготрајни периоди загревања простора могу учинити когенерацију економски одрживом. У топлим климатским условима, као што су земље Јужне Европе, у већини случајева је потребно и хлађење простора поред грејања, како би когенерација била економски изводљива. Доступност природног гаса и стандардизованих когенеративних јединица дала је подстицај применама когенерације у зградама током последње деценије. Одговарајуће јединице за зграде имају излазну снагу у распону од 10 до 2000 kW и имају следеће предности:

- Ниски трошкови;
- Висока густина електричне енергије;
- Брза и једноставна инсталација и
- Аутоматско функционисање без потребе за сталним присуством специјализованог особља.

Когенеративне јединице обично имају мотор са унутрашњим сагоревањем. Могу се користити течна горива, али најчешће гориво је природни гас, који је чист, релативно јефтин и који не захтева складиштење.

Слика 4 илуструје малу јединицу која се може инсталирати, на пример у кућама. Веће јединице су у облику приказаном на слици 5. Да би се бука смањила на прихватљиве нивое, користе се акустички кућишта, акустични амортизери и специјални материјали који апсорбују буку.

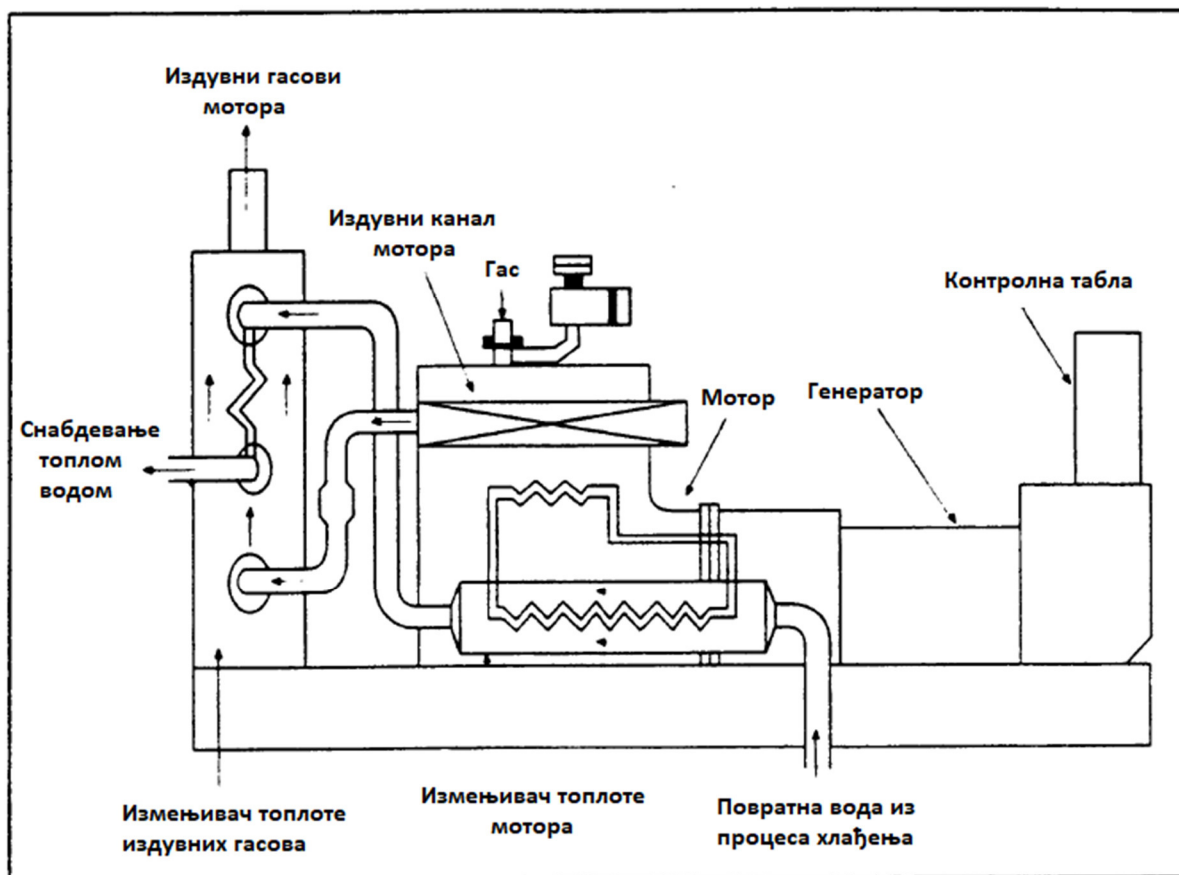


Слика 4: Стандардизована јединица за когенерацију Fiat TOTEM 15 kW [5]

Даљински надзор когенеративних јединица доприноси успешној примени когенерације у зградама. Микропроцесори који су инсталирани на уређају прате вредности кључних параметара рада (температуру, притисак, брзину, напон итд.). Подаци се преносе преко наменске линије на централни рачунар. Када анализа података показује надолazeћи квар, тим за одржавање долази на одређено место и врши поправке пре него што дође до отказа. Специјално предузеће може надгледати и водити рачуна о многим јединицама. Мреже даљинског мониторинга ове врсте успешно послују у многим земљама, на пример у Великој Британији [5].

На слици 5 је приказано когенеративно постројење које користи СУС мотор као главни покретач. Ово постројење неретко налази примену у стамбеном сектору. Као што је приказано на слици, когенеративна јединица производи електричну енергију у генератору у количини која је претходно одређена на основу потреба објекта у којем се примењује. Поред производње електричне енергије, мотор са унутрашњим сагоревањем истовремено производи топлоту која се рекуперише, а затим користи. Топлота мотора и издувних гасова се узима помоћу циркулационог круга у коме струји вода која представља радни флуид. Вода узима топлоту од мотора и издувних гасова и предаје је

у измењивачу топлоте санитарној потрошној води. СУС мотор приказан на слици 5 као гориво користи природни гас.



Слика 5: Главне компоненте малог когенеративног система са СУС мотором [5]

2.7. Feed-in тарифе у Србији

Feed-in тарифе у Србији постоје и како Србија има тежњу за уласком у ЕУ, Feed-in тарифе, али и остале погодности које се тичу енергетске ефикасности, временом ће постати све заступљеније. Законом је уређено да је могуће постићи статус повлашћеног произвођача из високоефикасне когенерације [6].

Feed-in тарифе су предвиђене подстицајне откупне цене по произведеном kWh електричне енергије из ОИЕ и високоефикасне когенерације, који су усклађене са технологијама које се примењују и које Влада Републике Србије прописује на одређени временски период како би подстакла инвеститоре и смањила ризик инвестиције. На овај начин се подстичу инвеститори да улажу у ОИЕ и високоенергетску когенерацију, што има знатне погодности са еколошког, али и економског гледишта.

У табели 5 су приказане Feed-in тарифе за све врсте извора производње електричне енергије који спадају у повлашћене произвођаче. Електране са комбинованом производњом на природни гас величине до 10 MW имају подстицајну откупну цену у износу од 8,89 сЕ/kWh, односно 10,535 РСД/kWh.

Табела 5. Feed-in тарифа у Србији за когенеративно постројење на природни гас [7]

Врста електране повлашћеног произвођача	Инсталисана снага P (MW)	Подстицајна откупна цена (с€/kWh)
Хидроелектрана	до 0,2	12,4
	0,2 - 0,5	$13,727 - 6,633 \cdot P$
	0,5 - 1	10,41
	1 - 10	$10,747 - 0,337 \cdot P$
	10 - 30	7,38
	до 30	5,9
Електране на биомасу	до 1	13,26
	1 - 10	$13,82 - 0,56 \cdot P$
	преко 10	8,22
Електране на биогаз	до 0,2	15,66
	0,2 - 1	$16,498 - 4,188 \cdot P$
	преко 1	12,31
	на биогаз животињског порекла	12,31
Електране на депонијски гас и гас из постројења за третман комуналних отпадних вода	/	6,91
Електране на ветар		9,2
Соларне електране	на објекту до 0,03	20,66
	на објекту 0,03 - 0,5	$20,941 - 9,383 \cdot P$
	на земљи	16,25
Геотермалне електране	до 1	9,67
	1 - 5	$10,358 - 0,688 \cdot P$
	преко 5	6,92
Електране на отпад		8,57
Електране са комбинованом производњом на угаљ	до 10	8,04
Електране са комбинованом производњом на природни гас	до 10	8,89

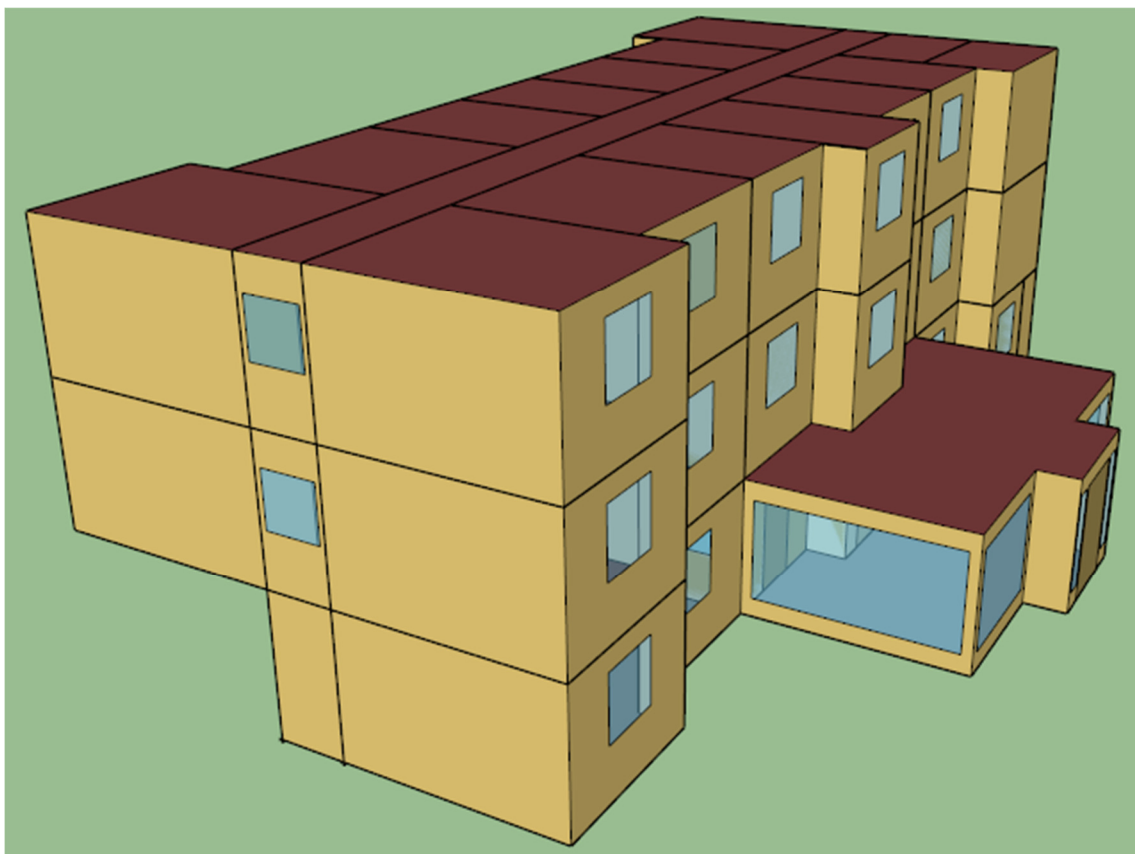
Напомена: Слово P означава вредност укупне инсталисане снаге постројења за производњу електричне енергије изражену у MW.

3. Студентски дом

3.1. Изометријски приказ и опис студентског дома

Објекат који је анализиран и коришћен за потребе рада представља студентски дом који садржи три нивоа, приземље, први спрат и други спрат. Примарна намена објекта је смештај студената/ученика, међутим, објекат садржи и просторије као што су перионица, вешерница, кухиња и ресторан, које студентима пружају додатне могућности у виду прања постељине и одеће, као и могућност исхране у самом објекту. Поред набројаних просторија, у објекту се налазе и просторије тоалета и купатила, али и остале пратеће просторије које су неопходне за функционисање студентског дома (котларница, магацин, остава, итд.).

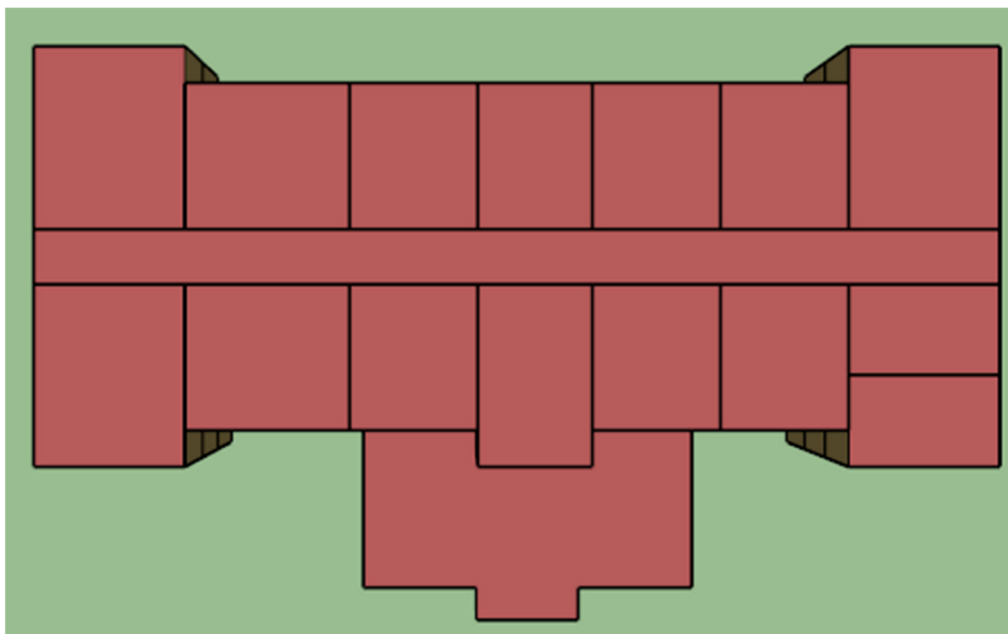
Објекат, чији је изометријски приказ дат на слици 6, има специфичан облик због нагнутости терена на којем се налази, па је са западне стране укопан, тако да је приземље мање површине од спратова. Објекат зато има контакт са земљом преко више површина, преко пода приземља, западног зида приземља и пода просторија на западној страни првог спрата.



Слика 6. *Изометријски приказ објекта израђеног у SketchUp-у*

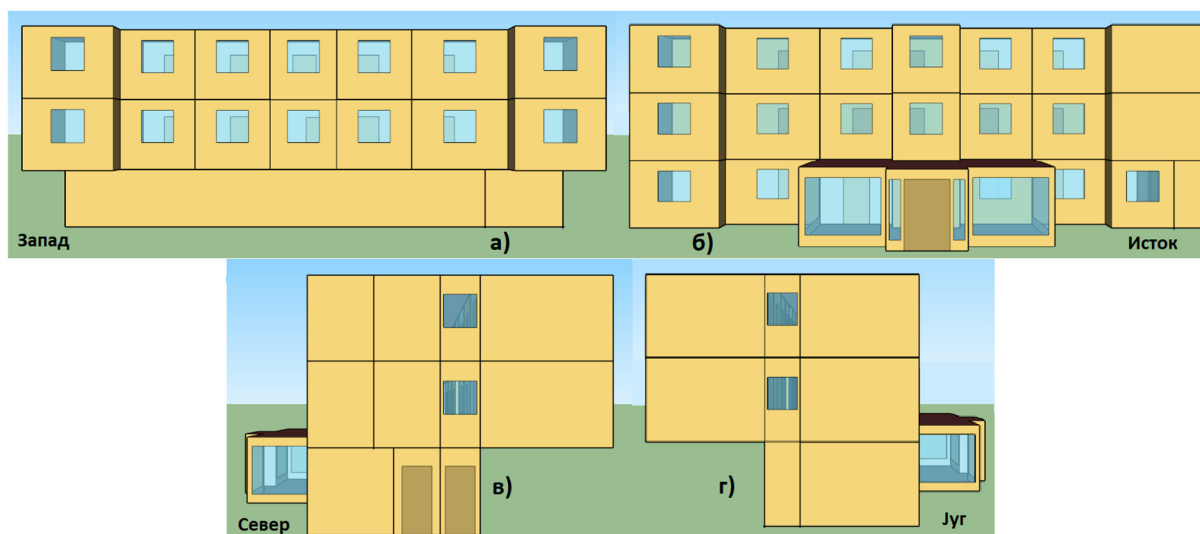
Остале спољне површине објекта (спољни зидови, прозори, врата и кров) се налазе у контакту са спољним ваздухом.

Кров објекта (слика 7) представља раван кров, а поред главног крова, студентски дом садржи и раван кров изнад ресторана.



Слика 7. *Кров објекта*

Приказ студентског дома са све четири стране света дат је на слици 8.



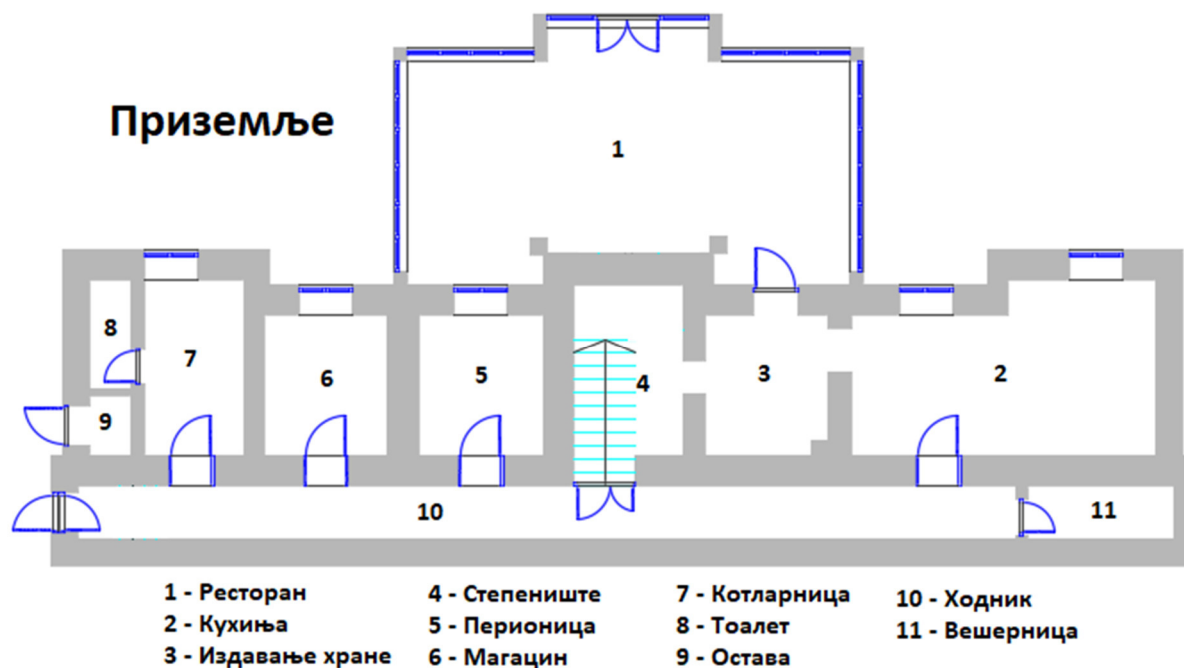
Слика 8. *Приказ све четири стране објекта - а) запад, б) исток, в) север и г) југ*

Студентски дом има капацитет смештаја од 77 лежаја, од којих се 37 налази на првом а 40 на другом спрату. Читав смештајни капацитет је распоређен у 23 просторије, односно собе, од којих 11 представљају трокреветне собе, 10 соба су четворокреветне и 2 двокреветне собе које су намењене васпитачима.

Због непостојања потребе за степеништем на другом спрату, на њему се налази једна трокреветна соба више, чиме је капацитет смештаја на другом спрату незнатно виши.

3.2. Основе објекта са распоредом просторија

Три основе студентског дома представљају приземље, први спрат и други спрат. На слици 9 је приказана основа приземља израђена у AutoCad-у.



Слика 9. Основа приземља објекта са распоредом просторија

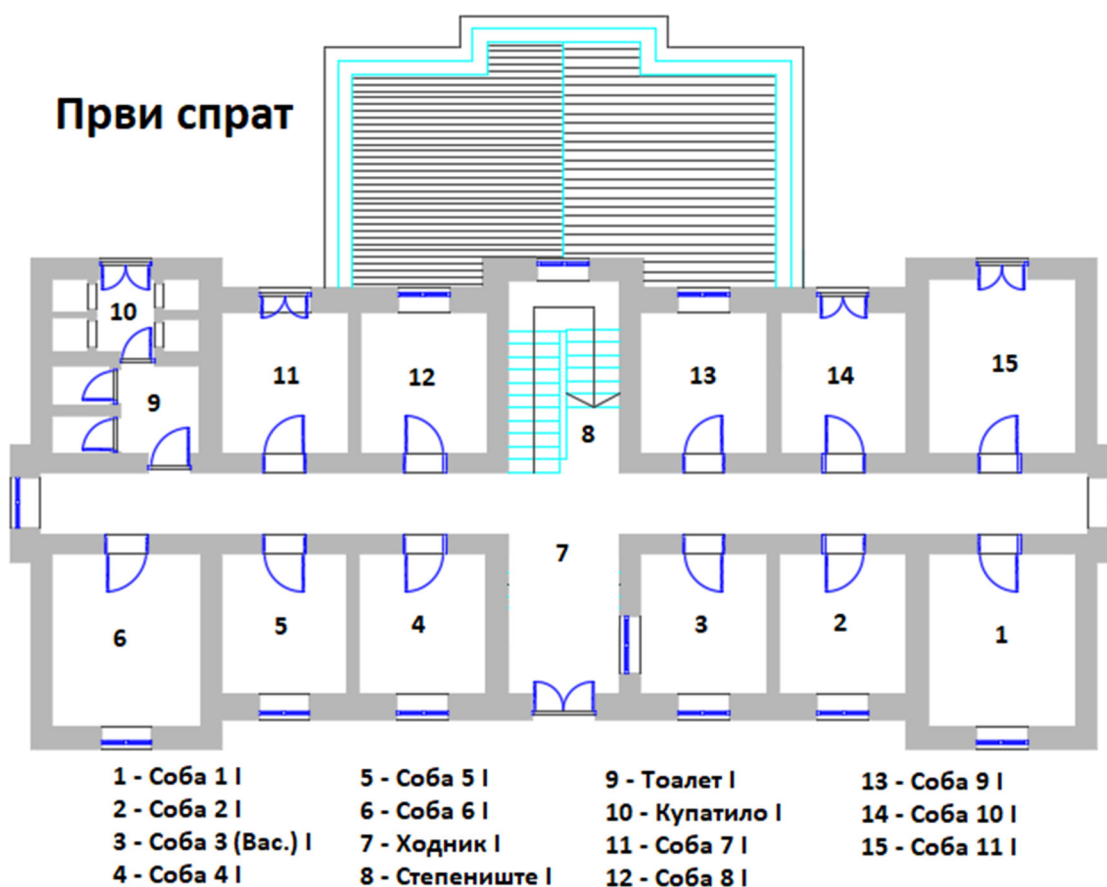
У табели 6 је приказана површина свих просторија у приземљу студентског дома. Највећи део површине приземља заузима ресторан, а најмању остава.

Табела 6. Намена просторија приземља и њихова површина

Број просторије	Намена	Површина [m ²]
1	Ресторан	34,02
2	Кухиња	24,72
3	Издавање хране	8,89
4	Ступениште	/
5	Перионица	8,89
6	Магацин	8,89
7	Котларница	9,2
8	Тоалет	2,6
9	Остава	1,4
10	Ходник	31,36
11	Вешерница	3,96

У приземљу студентског дома се налази кухиња у којој се припрема храна, како за станаре студентског дома, тако и за остале студенте који користе студентски ресторан. Поред кухиње се налази просторија која служи за издавање хране, из које се директно прелази у ресторан. У приземљу се налазе и перионица и вешерница које студентима пружају услугу прања и сушења одеће и постељине у склопу студентског дома. Такође, у приземљу се налазе и магацин за складиштење, тоалет, котларница из које се читав објект снабдева топлотном енергијом и остава са спољним улазом у којој се одлажу алатке за сређивање површина око студентског дома. Приземље студентског дома није намењено за становање студената, односно није стамбеног типа.

Основа првог спрата студентског дома приказана је на слици 10. На првом спрату се налази 14 просторија.



Слика 10. Основа првог спрата објекта са распоредом просторија

На првом спрату студентског дома се налази 11 соба (10 за студенте и 1 за васпитача). Соба за васпитача је двокреветна, а поред ње, на другом спрату се налазе 5 трокреветних и 5 четворокреветних соба. Поред соба, на првом спрату се налазе купатило и тоалет. Купатило и тоалет су заједнички за читав спрат, односно све студенте са првог спрата. Такође, на првом спрату се налази и велики ходник са ступеништем ка приземљу и ступеништем ка другом спрату. У табели 7 је дата површина свих просторија на првом спрату студентског дома.

Табела 7. Намена просторија првог спрата и њихова површина

Број просторије	Намена	Површина [m ²]
1	Соба 1 I	13,2
2	Соба 2 I	11,52
3	Соба 3 (Вас.) I	8,96
4	Соба 4 I	8,96
5	Соба 5 I	8,96
6	Соба 6 I	13,2
7	Ходник I	22,6
8	Степениште I	/
9	Тоалет I	6,6
10	Купатило I	6,6
11	Соба 7 I	8,96
12	Соба 8 I	8,96
13	Соба 9 I	8,96
14	Соба 10 I	11,52
15	Соба 11 I	13,2

Основа другог спрата студентског дома приказана је на слици 11. На другом спрату се налази 15 просторија.



Слика 11. Основа другог спрата објекта са распоредом просторија

Просторије на другом спрату су идентичних намена као просторије на првом спрату, тако да се просторије истих површина и намена налазе једна изнад/испод друге. Једина разлика је што на другом спрату постоји једна трокреветна соба више зато што се не губи простор за степениште ка вишем спрату. У табели 8 је дата површина свих просторија на другом спрату студентског дома.

Табела 8. Намена просторија другог спрата и њихова површина

Број просторије	Намена	Површина [m ²]
1	Соба 1 II	13,2
2	Соба 2 II	11,52
3	Соба 3 (Вас.) II	8,96
4	Соба 4 II	8,96
5	Соба 5 II	8,96
6	Соба 6 II	8,96
7	Соба 7 II	13,2
8	Ходник II	22,6
9	Степениште II	/
10	Тоалет II	6,6
11	Купатило II	6,6
12	Соба 8 II	8,96
13	Соба 9 II	896
14	Соба 10 II	8,96
15	Соба 11 II	11,52
16	Соба 12 II	13,2

3.3. Конструкција објекта

Конструкције делова објекта су приказане на сликама 12 и 13, где су приказани називи конструкција, а затим испод њих материјали које та конструкција садржи.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Plafonska konstrukcija	Prozor	Vrata	Zid prema grejanom	Zid prema negrejanom
Sljunak	Clear 6mm	Borovina	Krecni malter	Krecni malter
Bitumen	Ksenon 16mm	Celulozna vlakna	Puna opeka	Stiropor 6cm
Kamena vuna	Clear 6mm	Borovina	Stiropor 6cm	Puna opeka
Parna brana	Ksenon 16mm		Krecni malter	Krecni malter
Pamuk	Clear 6mm			
Parna brana				
Beton za poravnanje				
Cementna kosuljica				
Monta				
Krecni malter				

Слика 12. Конструкције објекта

Важно је напоменути да све конструкције на објекту задовољавају Правилник о енергетској ефикасности, односно коефицијенти пролаза топлоте се налазе у дозвољеним границама.

Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Zid spoljni	Zid unutrašnji	Zid spoljni hidroizola	Zid unutrašnji prema
Puna opeka	Krecni malter	hidro izolacija 0.8	Krecni malter
Stiropor	Puna opeka	Puna opeka	Stiropor 1.5cm
Vazdusni prostor	Krecni malter	Stiropor	Puna opeka
Suplji blok		Vazdusni prostor	Stiropor 1.5cm
Krecni malter		Suplji blok	Krecni malter
		Krecni malter	

Слика 13. Преостале конструкције објекта

Конструкције објекта се су углавном састоје од карактеристичних материјала за ово поднебље.. На слици 14 су приказане карактеристике појединих материјала коришћених при конструкцији објекта.

Field	Units	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Kamena vuna	Keramicke plovice	Krecni malter
Roughness		Rough	VerySmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0.12	0.015	0.025
Conductivity	W/m-K	0.039	0.87	0.81
Density	kg/m3	180	1700	1600
Specific Heat	J/kg-K	840	920	1050
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7

Слика 14. Карактеристике материјала

3.4. Локација и услуге студентског дома

Локација студентског дома је јако битна карактеристика, зато је за локацију одабран град Крагујевац, који садржи свој Универзитет са већим бројем факултета, а самим тим и студената. Обзиром на то да велики број студената није из Крагујевца, потребе за смештајем су изразито велике, а узимајући у обзир цену приватног смештаја, већи број студентских домова представља реалну потребу.

Студентски дом нуди смештај за 77 особа, који поред своје собе (трокреветне или четворокреветне) имају и заједнички тоалет и купатило које деле са студентима са истог спрата. У купатилу се налазе 4 туш кабине и 4 умиваоника. Такође, станари студентског дома имају могућност прања и сушења постељине и одеће и наравно коришћења студентског ресторана, који поред станара студентског дома могу да користе и други студенти.

4. Распоред потрошње ПТВ

Распоред потрошње потрошне топле воде (ПТВ) у студентском дому добијен је на основу прикупљених података потрошње по јединицама објекта у којима се она користи [8]. Потрошња санитарне топле воде јавља се у купатилима, ресторану, кухињи и перионици. Потрошња ПТВ се јавља у различитим периодима дана у зависности од намене, па се потрошња разликује за сваку од наведених просторија у којима се користи.

Студентски дом не ради током целе године јер постоји летњи распуст који траје од 14. јула до 15. августа. Такође, постоје и празници када студентски дом ради, међутим, ресторан, кухиња и перионица тада не раде, па је потрошња воде мања. Нерадни дани приказани су у табели 9.

Табела 9. *Нерадни дани*

Узрок паузе	Време трајања
Новогодишњи и Божићни празници	01.01. - 07.01.
Ускршњи празници	14.04. - 16.04.
Празник рада	01.05.
Летњи распуст	15.07 - 14.08.

Важно је напоменути да су сви датуми, паузе, и распореди узети за 2017. годину, јер, у зависности од године, долази до промена. Као најбољи пример се може узети датум Ускршњих празника, који се мења сваке године.

4.1. Распоред потрошње ПТВ у ресторану

Потрошња ПТВ у ресторану јавља се једино на умиваонику који корисници ресторана употребљавају ради прања руку пре и после оброка. Ресторан не користе само студенти који су станари студентског дома, већ и студенти који не живе у њему. Ресторан користи 77 студента из студентског дома и 46 студената који не живе у студентском дому. Укупан број студената који користе ресторан је 123. У ресторану су постављена два умиваоника, ради смањења могућности стварања гужве. Захтевана температура воде је 40 °С. Потрошња топле санитарне воде у ресторану јавља се три пута дневно у интервалима трајања доручка, ручка и вечере (табела 10).

Табела 10. *Време потрошње ПТВ у ресторану*

Оброк	Доручак	Ручак	Вечера
Време коришћења ПТВ	07:00 - 08:40	13:00 - 14:40	18:00 - 19:40

Иако оброци трају по 2 сата, време потрошње ПТВ у ресторану траје 1 сат и 40 минута, због периода између прања руку пре оброка и завршетка оброка.

У табели 11 је приказан распоред потрошње потрошне топле воде у ресторану у току једне недеље за више случајева.

Табела 11. Распоред потрошње ПТВ у ресторану

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (без изузетака*)			
Дан	Доручак	Ручак	Вечера
Понедељак - Четвртак	1	1	1
Петак	1	1	0,58
Субота	0,58	0,58	0,58
Недеља	0,58	0,58	1
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)			
Дан	Доручак	Ручак	Вечера
Понедељак - Четвртак	0,72	0,72	0,72
Петак	0,72	0,72	0,58
Субота	0,58	0,58	0,58
Недеља	0,58	0,58	0,72
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника			
Дан	Доручак	Ручак	Вечера
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0	0

**без изузетака означава дане када ресторан ступа у рад (први радни дан након паузе - нема доручка) или када престаје са радом (последњи радни дан пре паузе - нема вечере)*

У табели 11 бројеви (1; 0,72; 0,58 и 0) означавају фракције. Максималан проток ПТВ означен је фракцијом 1. Проток ПТВ у ресторану износи $0,0001025 \text{ m}^3/\text{s}$ (6,15 l/min).

- За фракцију 1 потрошња ПТВ износи: $1 \cdot 0,0001025 = 0,0001025 \text{ m}^3/\text{s} = 6,15 \text{ l/min}$
- За фракцију 0,72 потрошња ПТВ износи: $0,72 \cdot 6,15 \text{ l/min} = 4,428 \text{ l/min}$
- За фракцију 0,58 потрошња ПТВ износи: $0,58 \cdot 6,15 \text{ l/min} = 3,567 \text{ l/min}$
- За фракцију 0 потрошња ПТВ износи: 0 l/min

4.2. Распоред потрошње ПТВ у купатилу

Јасно је да је потрошња воде у купатилу већа у односу на остала места потрошње ПТВ у студентском дому. Студентски дом садржи купатило на првом и другом спрату. Потрошња ПТВ у купатилу се јавља преко умиваоника и туш кабина. Купатило садржи 4 умиваоника и 4 туш кабина, чиме је смањена могућност стварања гужве.

Претпоставља се да се купатила најинтензивније користе ујутру и увече када студенти углавном воде рачуна о својој хигијени (туширање, умивање, прање зуба, руку итд.). Током дана, студенти су углавном на факултетима и у читаоницама, па је

потрошња ПТВ у купатилима у току дана знатно мања, готово занемарљива. Захтевана температура воде је 40 °С.

Време трајања коришћења купатила приказано је у табели 12.

Табела 12. Најинтензивнији периоди коришћења купатила

Период дана	Јутро	Вече
Време трајања	06:00 - 06:50	22:00 - 22:50

У табели 13 је приказан распоред потрошње потрошне топле воде у купатилу у току једне недеље за више случајева. Проток ПТВ у купатилу износи 0,00144375 m³/s (86,625 l/min).

Табела 13. Распоред потрошње ПТВ у купатилу

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (без изузетака*)				
Дан	Јутро		Вече	
	06:00 - 06:20	06:20 - 06: 50	22:00 - 22:20	22:20 - 22:50
Понедељак - Четвртак	1	0,37	1	0,37
Петак	1	0,37	0,5	0,185
Субота	0,5	0,185	0,5	0,185
Недеља	0,5	0,185	1	0,37
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)				
Дан	Јутро		Вече	
	06:00 - 06:20	06:20 - 06: 50	22:00 - 22:20	22:20 - 22:50
Понедељак - Четвртак	0,75	0,278	0,75	0,278
Петак	0,75	0,278	0,5	0,185
Субота	0,5	0,185	0,5	0,185
Недеља	0,5	0,185	0,75	0,278
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника				
Дан	Јутро		Вече	
	06:00 - 06:20	06:20 - 06: 50	22:00 - 22:20	22:20 - 22:50
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0	0	0

**без изузетака означава дане када дом ступа у рад (нема потрошње ујутру) или када престаје са радом (нема потрошње увече)*

4.3. Распоред потрошње ПТВ у кухињи

Потрошња ПТВ у кухињи је знатно комплекснија у односу на сва преостала места потрошње. У кухињи се ПТВ користи за припрему чајева, млека, главног јела, десерта, за прање посуђа и прибора, итд. Потрошња се може распоредити на потрошњу пре, за

време и после доручка, ручка и вечере. На тај начин се добијају три табеле за сва три obroka, у којима су приказане фракције потрошње ПТВ у одређеном временском периоду. Захтевана температура воде је 60 °C.

У кухињи се припремају оброци за 123 студената (корисника) ресторана. Највећа потрошња ПТВ се јавља у периоду припреме ручка, нешто мања потрошња за припрему вечере и најмања за припрему доручка.

У табели 14 је приказан распоред потрошње ПТВ у кухињи за период доручка у току једне недеље за више случајева. Проток ПТВ у кухињи износи 0,000205 m³/s (12,3 l/min).

Табела 14. *Распоред потрошње ПТВ у кухињи (доручак)*

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (без изузетака*)				
Дан	06:50 - 07:00	08:00 - 08:30	09:00 - 09:10	09:10 - 09:30
Понедељак - Четвртак	0,3	0,108	0,352	0,108
Петак	0,3	0,108	0,352	0,108
Субота	0,174	0,062	0,204	0,062
Недеља	0,174	0,062	0,204	0,062
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)				
Дан	06:50 - 07:00	08:00 - 08:30	09:00 - 09:10	09:10 - 09:30
Понедељак - Четвртак	0,216	0,078	0,253	0,078
Петак	0,216	0,078	0,253	0,078
Субота	0,174	0,062	0,204	0,062
Недеља	0,174	0,062	0,204	0,062
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника				
Дан	06:50 - 07:00	08:00 - 08:30	09:00 - 09:10	09:10 - 09:30
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0	0	0

**без изузетака означава дане када кухиња ступа у рад (нема доручка)*

У табели 15 је приказан распоред потрошње потрошне топле воде у кухињи за период ручка у току једне недеље за више случајева. Проток ПТВ у кухињи износи 0,000205 m³/s (12,3 l/min).

Табела 15. Распоред потрошње ПТВ у кухињи (ручак)

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (нема изузетака)				
Дан	12:00 - 12:10	14:00 - 14:30	15:00 - 15:10	15:10 - 15:30
Понедељак - Четвртак	1	0,108	0,352	0,108
Петак	1	0,108	0,352	0,108
Субота	0,58	0,062	0,204	0,062
Недеља	0,58	0,062	0,204	0,062
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)				
Дан	12:00 - 12:10	14:00 - 14:30	15:00 - 15:10	15:10 - 15:30
Понедељак - Четвртак	0,72	0,078	0,253	0,078
Петак	0,58	0,062	0,204	0,062
Субота	0,58	0,062	0,204	0,062
Недеља	0,58	0,062	0,204	0,062
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника				
Дан	12:00 - 12:10	14:00 - 14:30	15:00 - 15:10	15:10 - 15:30
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0	0	0

У табели 16 је приказан распоред потрошње потрошне топле воде у кухињи за период вечере у току једне недеље за више случајева.

Табела 16. Распоред потрошње ПТВ у кухињи (вечера)

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (без изузетака*)				
Дан	17:00 - 17:10	19:00 - 19:30	20:00 - 20:10	20:10 - 20:30
Понедељак - Четвртак	0,5	0,108	0,352	0,108
Петак	0,29	0,062	0,204	0,062
Субота	0,29	0,062	0,204	0,062
Недеља	0,5	0,108	0,352	0,108
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)				
Дан	17:00 - 17:10	19:00 - 19:30	20:00 - 20:10	20:10 - 20:30
Понедељак - Четвртак	0,36	0,078	0,253	0,078
Петак	0,29	0,078	0,253	0,078
Субота	0,29	0,078	0,253	0,078
Недеља	0,36	0,078	0,253	0,078
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника				
Дан	17:00 - 17:10	19:00 - 19:30	20:00 - 20:10	20:10 - 20:30
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0	0	0

*без изузетака означава дане када кухиња престаје са радом (нема вечере)

4.4. Распоред потрошње ПТВ у перионици

Перионица садржи четири машине за прање веша. Ова услуга је доступна свим станарима студентског дома, који имају потребу за прањем одеће и постељине. Перионица ради у вечерњем термину, у периоду јефтиније електричне енергије, односно по нижој тарифи. Потрошња ПТВ за прање је интензивна у првих пола сата циклуса прања, када машина повлачи топлу воду из система и на тај начин се штеди енергија коју би машина морала да утроси за загревање воде помоћу електричног грејача. Захтевана температура воде је 40 °С.

У табели 17 је приказано време потрошње топле воде у перионици. Машине обављају два циклуса прања у трајању од једног часа. Циклуси се одвијају у временском интервалу од 22:00 до 23:00 и од 23:00 до 00:00.

Табела 17. *Периоди коришћења ПТВ у перионици*

Циклус	Први циклус	Други циклус
Период потрошње	22:00 - 22:30	23:00 - 23:30

У табели 18 је приказан распоред потрошње потрошне топле воде у перионици у току једне недеље за више случајева. Проток ПТВ у перионици износи 0,0001044 m³/s (6,264 l/min).

Табела 18. *Распоред потрошње ПТВ у перионици*

Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (без изузетака*)		
Дан	22:00 - 22:30	23:00 - 23:30
Понедељак - Четвртак	1	1
Петак	0,5	0,5
Субота	0,5	0,5
Недеља	1	1
Распоред потрошње ПТВ у току једне недеље (14.08. - 30.09.)		
Дан	22:00 - 22:30	23:00 - 23:30
Понедељак - Четвртак	0,75	0,75
Петак	0,5	0,5
Субота	0,5	0,5
Недеља	0,75	0,75
Распоред потрошње ПТВ за време летњег распуста и празника		
Дан	22:00 - 22:30	23:00 - 23:30
П,У,С,Ч,П,С и Н	0	0

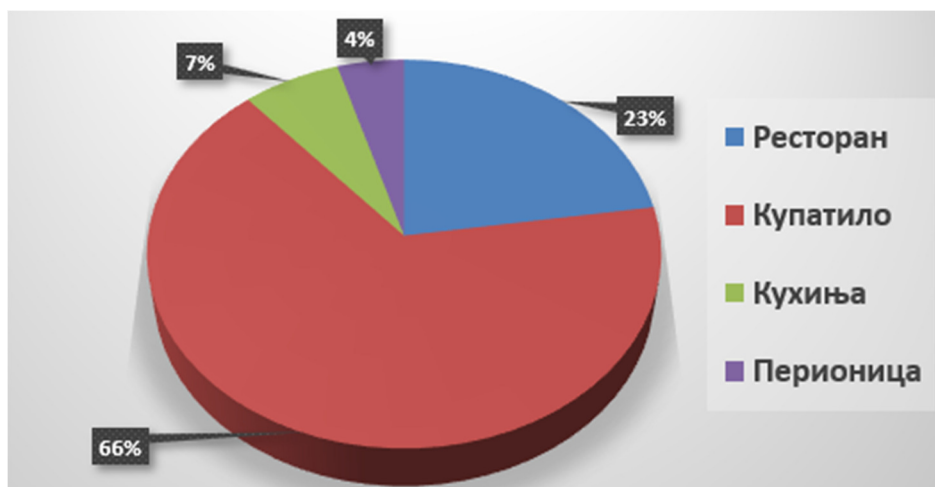
**без изузетака означава дане када перионица престаје са радом (последњи радни дан пре паузе - нема потрошње)*

2.5. Укупна потрошња ПТВ у студентском дому

Укупна потрошња ПТВ у студентском дому представља збир потрошње воде у оквиру свих просторија које се опслужују ПТВ. У табели 19 је приказана максимална потрошња ПТВ у студентском дому по часовима у току једног дана. Одабрани дан представља дан са највишим фракцијама потрошње, тако да добијена количина представља максималну потребну количину ПТВ у једном дану. Највећа потрошња ПТВ по просторијама у којима се користи јавља се у купатилу, а највећа потрошња по сатима у току дана јавља се од 22:00 до 23:00 часова, када се јавља потрошња воде у купатилу и перионици.

Укупна (максимална) количина ПТВ у току дана износи $8159,34 \text{ l} \approx 8160 \text{ l}$. Укупна количина преведена у m^3 износи $8,16 \text{ m}^3$. Треба напоменути да је потрошња у осталим данима (данима са мањим фракцијама) мања, појединим данима и знатно мања. Међутим, потребна количина ПТВ је узета за максимално оптерећење и представља вршно оптерећење гледано по данима.

На слици 15 је приказан дијаграм на којем је представљена процентуална расподела потрошње ПТВ по просторијама у студентском дому. Највећа потрошња јавља се у купатилу и представља 66 % укупне потрошње ПТВ. Затим следи ресторан са 23 %, као и кухиња са 7 % и перионица са 4 %.



Слика 15. Дијаграм распореда потрошње ПТВ по местима потрошње у студентском дому

Табела 19. Максимална дневна потрошња ПТВ у дому изражена у литрима (l)

Време	Ресторан	Купатило	Кухиња	Перионица	Укупно
00:00 - 01:00	0	0	0	0	0
01:00 - 02:00	0	0	0	0	0
02:00 - 03:00	0	0	0	0	0
03:00 - 04:00	0	0	0	0	0
04:00 - 05:00	0	0	0	0	0
05:00 - 06:00	0	0	0	0	0
06:00 - 07:00	0	2694	36,9	0	2730,9
07:00 - 08:00	369	0	0	0	369
08:00 - 09:00	246	0	39,84	0	285,84
09:00 - 10:00	0	0	69,86	0	69,86
10:00 - 11:00	0	0	0	0	0
11:00 - 12:00	0	0	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	123	0	123
13:00 - 14:00	369	0	0	0	369
14:00 - 15:00	246	0	39,84	0	285,84
15:00 - 16:00	0	0	69,86	0	69,86
16:00 - 17:00	0	0	0	0	0
17:00 - 18:00	0	0	61,5	0	61,5
18:00 - 19:00	369	0	0	0	369
19:00 - 20:00	246	0	39,84	0	285,84
20:00 - 21:00	0	0	69,86	0	69,86
21:00 - 22:00	0	0	0	0	0
22:00 - 23:00	0	2694	0	187,92	2881,92
23:00 - 24:00	0	0	0	187,92	187,92
00:00 - 24:00	1845	5388	550,5	375,84	8159,34 l

Потребна топлотна снага, односно капацитет грејача акумулатора топлоте износи 170 kW, а запремина акумулатора топлоте износи 3,2 m³ [8].

5. Мотори са унутрашњим сагоревањем

Мотори са унутрашњим сагоревањем (СУС мотори) представљају широко распрострањену технологију. Производе се широм света, преко 200 милиона јединица годишње. СУС мотори могу бити Diesel или Otto конфигурације. Мотори су важни и за транспортне и за стационарне потребе. Њихове величине крећу се од фракционих мотора до великих погонских система поморских бродова вредних 5 милиона фунти који производње преко 80 MW снаге. Дуга историја техничког развоја и високих нивоа производње допринела је да мотори постану поуздан и економски избор као главни покретач у когенеративном систему [1].

Технологија СУС мотора се драматично побољшала током протекле три деценије, подстакнута економским и еколошким притисцима за побољшање густине електричне енергије, већу ефикасност горива и смањене емисије штетних гасова у атмосферу. Електронски модули за контролу производње електричне енергије омогућили су прецизнији надзор и дијагностичко праћење процеса мотора. Произвођачи мотора и светске компаније за истраживање и развој широм света настављају да уводе напредне технологије мотора, укључујући убрзање ширења иновативних технологија и концепата са аутомобилског тржишта на стационарно тржиште. Карактеристике које су направиле СУС моторе водећим покретачем за когенерационе системе и друге дистрибуиране примене су резимиране у табели 20.

Табела 20. Карактеристике СУС мотора [1]

Распон величина	СУС мотори су доступни у величинама од 10 kW до преко 18 MW.
Топлотни излаз	СУС мотори могу производити топлу воду, пару ниског притиска и расхлађену воду (помоћу апсорпционог хладњака).
Брзо покретање	Способност брзог покретања СУС мотора омогућава правовремени наставак рада система након поступка одржавања. У случају нужде, СУС мотори могу брзо снабдевати електричну енергију по потреби.
Могућност лаког покретања	У случају нестанка електричне енергије, СУС мотори захтевају минималне додатне напојне снаге. Генерално су потребне само батерије или компримовани ваздух.
Доступност	СУС мотори су демонстрирали доступност са преко 95 % у стационарним применама производње електричне енергије.
Рад при делимичном оптерећењу	Ефикасност делимичног оптерећења СУС мотора осигурава економичан рад у електричном оптерећењу након примене.
Поузданост и век трајања	СУС мотори су се показали као поуздани генератори енергије уз одговарајуће одржавање.
Емисије штетних гасова	Diesel мотори имају релативно високе нивое емисије NO _x и чврстих честица. Међутим, Otto мотори на природни гас имају побољшане профиле емисија.

5.1. Примена СУС мотора

СУС мотори су погодни за различиту примену и користе се у индустријским, комерцијалним и институционалним објектима за производњу електричне енергије и когенерацију. СУС мотори се покрећу брзо, добро прате оптерећење, имају добру ефикасност при делимичном оптерећењу и углавном су високе поузданости. У многим случајевима, поседовањем више јединица СУС мотора додатно се повећава укупни капацитет и расположивост постројења.

СУС мотори имају већу електричну ефикасност него гасне турбине сразмерне величине и тиме се смањују оперативни трошкови везани за гориво. Поред тога, трошкови улагања за СУС моторе углавном су нижи од улагања код гасних турбина у величинама испод 20 MW. Трошкови одржавања СУС мотора углавном су већи од упоредивих трошкова одржавања гасних турбина, али одржавањем често може руководити запослено особље или локални сервис.

5.1.1. Комбинована производња топлотне и електричне енергије

Постоји преко 2000 активних СУС мотора за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије у САД-у, који обезбеђују скоро 2,3 GW капацитета електричне енергије. Ови системи су углавном Otto мотори који користе природни гас и друга гасовита горивима (биогаз, депонијски гас). Природни гас има ниже трошкове него горива на бази нафте, а такође је контрола емисија генерално ефикаснија користећи гасовита горива.

Когенеративни системи СУС мотора се обично користе на универзитетима, болницама, постројењима за пречишћавање воде, индустријским постројењима и комерцијалним и стамбеним зградама. Капацитети постројења крећу се од 30 kW до 30 MW, односно много већих постројења који се састоје од више јединица. Otto мотори који користе природни гас или друга гасовита горива, представљају 84 % инсталираних СУС мотора за потребе когенеративних система.

Топлотна оптерећења која су најпогоднија за системе когенерације са СУС моторима у комерцијалним/институционалним зградама су грејање простора и потребе за топлотом водом. Најједноставније топлотно оптерећење је за снабдевање топлотом потрошном водом. Основне примене когенерације у комерцијалном, институционалном и резиденцијалном сектору су они типови изградње са релативно високом и подударном потражњом за електричном енергијом и топлотом водом, као што су студентски домови, универзитети, болнице и домови за негу, вишенаменске стамбене зграде и смештај.

- Типична **комерцијална** примена СУС мотора са когенерацијом је болница или здравствена установа са 1 MW снаге когенеративног система који се састоји од више мотора снаге 200 до 300 kW који користе природни гас. Систем је креиран да задовољи основне потребе електричних захтева објекта. Приближно 1,6 MW

топлотне енергије (MWth), у виду топле воде, се добија од издувних гасова мотора и система за хлађење мотора како би се обезбедило загревање простора и топла вода у објекту, као и за управљање апсорпционим хладњацима за климатизацију простора током летњих месеци. Укупна ефикасност ове врсте когенеративних система може бити већа од 70 %.

- Типична **индустријска** примена когенеративних СУС мотора је постројење за прераду хране на моторни погон снаге 2 MW који користи природан гас погоњен са више мотора снаге од 500 до 800 kW. Систем обезбеђује основну електричну енергију за постројење и приближно 2,2 MWth нископритисне паре за процес грејања и процесе прања. Укупна ефикасност когенеративног система овог типа се приближава 75 % [1].

5.1.2. Генератори за приправност и хитне случајеве

Генератори СУС мотора за хитне случајеве и приправност користе се у широком спектру примене од стамбених домова до болница, научних лабораторија, информационих центара, телекомуникационе опреме и модерних поморских бродова. Стамбени системи обухватају преносне моторне апарате са погоном на бензин или трајне инсталације које користе природни гас или пропан.

Комерцијални и индустријски системи најчешће користе Diesel моторе. Предности Diesel мотора у режиму мировања укључују нижа улагања, могућност складиштења горива на лицу места ако је то потребно, брзо пуштање у рад и постизање пуног оптерећења. Због релативно високих емисија загађивача ваздуха, такви Diesel системи су углавном ограничени у броју радних сати. Ови системи такође могу бити ограничени на тај начин што неће добити дозволу за пружање других услуга као што је постизање вршног оптерећења [1].

5.1.3. Вршно оптерећење

Генератори СУС мотора могу да производе потребну електричну енергију током периода максималног оптерећења и тиме пружају користи и крајњем кориснику и локалном комуналном предузећу. Постојење може уштедети на максималној потрошњи електричне енергије, а услужни систем може оптимизовати пословање и минимизовати инвестиције у производњу, пренос и дистрибуцију које се користе само 0-200 сати годишње. При типичном вршном оптерећењу, помоћни уређај ће затражити од постројења да управља његовим генераторима током периода вршног оптерећења, а у замену ће кориснику обезбедити месечну новчану накнаду.

5.2. Опис технологије СУС мотора

5.2.1. Основни процеси

Постоје два примарна типа мотора који се примењују у односу на стационарну примену производње електричне енергије:

- Otto циклус са паљењем помоћу варнице и
- Diesel мотор са паљењем помоћу компресије.

Основне механичке компоненте Otto и Diesel циклуса су исте. Оба користе цилиндричну комору за сагоревање, у којој се клип креће дужином цилиндра. Клип се спаја са радилицом која претвара линијско кретање клипа у ротационо кретање радилице. Већина мотора има више цилиндара који напајају једну радилицу.

Главна разлика између Otto и Diesel циклуса је начин запаљења горива. Мотори са паљењем помоћу варнице (Otto циклус) користе свећицу како би запалили мешавину ваздуха и горива који су убачени у цилиндар.

Мотори са компресионим паљењем (Diesel циклус) компримују ваздух подижући му притисак и температуру на температуру аутоматског паљења горива које се убацује под високим притиском.

Мотори се даље категоризирају према брзини коленастог вратила у обртајима у минути (rpm), оперативном циклусу (двотактном или четворотактном) итд. СУС мотори су такође категоризовани по оригиналној намени дизајна, као што су аутомобилски, камионски, индустријски, локомотивни и поморски. Стотине малих стационарних снага, за когенерацију, кондензацију и испаравање, користе моделе СУС мотора аутомобила. Они су углавном јефтини због великог обима производње. Камионски мотори имају повољну цену обима производње и произведени су за веома дуг живот (нпр., милион километара). Бројни СУС мотори камиона су доступни као стационарни мотори.

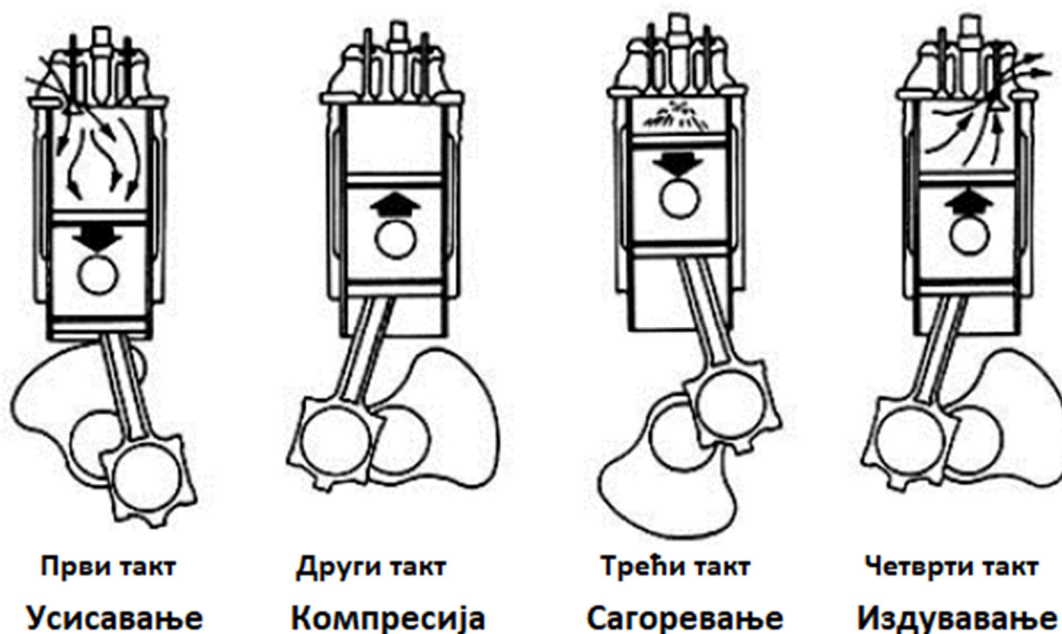
Мотори намењени за индустријску употребу су дизајнирани за издржљивост и за широк спектар механичких погона и примене електричне енергије. Њихове величине варирају од 20 kW до 6 MW, укључујући индустријске моторе у распону од 200 до 600 kW и индустријски примењене поморске и локомотиве моторе изнад 1 MW.

Постоје два циклуса мотора при стационарним примени, нарочито у стању приправности. Међутим, већина Otto и Diesel мотора, релевантних за стационарну производњу електричне енергије завршавају циклус у четири потеза клипа унутар цилиндра као што је приказано на слици 16.

- **Усисавање** - увођење ваздуха (Diesel) или смеше ваздуха и горива (Otto) у цилиндар.
- **Компресија** - компресија ваздуха или мешавине ваздуха и горива унутар цилиндра. У Diesel моторима, гориво се убризгава на крају компресионог удара, и запали се услед повишене температуре компримованог ваздуха у цилиндру. Код

Otto мотора, мешавина компримованог ваздуха и горива се запали помоћу извора паљења.

- **Сагоревање** - клип убрзава проширењем врућих гасова под високим притиском.
- **Издување** - протеривање производа сагоревања из цилиндра кроз издувни прикључак.



Слика 16. Циклус четворотактног мотора [1]

5.2.2. Компоненте СУС мотора

5.2.2.1. Otto мотори

Тренутни Otto мотори који користе природни гас за производњу електричне енергије нуде ниске трошкове улагања, брзо покретање, доказану поузданост приликом правилног одржавања, одличне карактеристике при ниском оптерећењу и значајан потенцијал рекулперације топлоте. Електрична ефикасност мотора на природни гас креће се од 30 % доње топлотне моћи (27 % горње топлотне моћи) за мале стехиометријске моторе ($< 100 \text{ kW}$), до преко 46% доње топлотне моћи (42% горње топлотне моћи) за велике моторе за сагоревање ($> 3 \text{ MW}$).

Отпадна топлота, која се узима из врелих издувних гасова мотора и из система за хлађење мотора, користи се за производњу топле воде или пареу ниског притиска за примену у когенеративним системима. Могуће је постићи укупну ефикасност когенеративног система (електричне енергије и корисне топлотне енергије) до 80 % (горње топлотне моћи).

Otto мотори користе свећице са искром високог интензитета, која има улогу да запали компримовану мешавину горива и ваздуха унутар цилиндра. Природни гас је

најзаступљеније моторно гориво код Otto мотора и користи се у производњи електричне енергије и когенеративним системима. Остала гасовита и испарљива течна горива, у распону од гасова са депоније до пропана и бензина, могу се користити у одговарајућим системима горива.

Амерички произвођачи почели су да развијају велике motore на природни гас за индустрију преноса гаса после Другог светског рата. Мањи СУС мотори су развијени (или конвертовани из дизела) за прикупљање гаса и остале стационарне примене, како се развијала инфраструктура природног гаса. Мотори на природни гас за примену у производњи електричне енергије су првенствено четворотактни мотори, доступни у величинама до око 18 MW.

У зависности од величине мотора, постоје две технике паљења природног гаса:

- Отворена комора - врх свећице је изложен у комори за сагоревање у цилиндру, где директно пали мешавину компримованог горива и ваздуха.
- Комора пре сагоревања - поступак сагоревања где се свећица налази у малој комори монтираној на глави цилиндра. Ова преткомора је пуњена богатом смешом горива и ваздуха, која након паљења одлази у главну комору за сагоревање у цилиндру као горионику са високом енергијом. Ова техника обезбеђује довољну енергију паљења како би побољшала карактеристике веома лаке смеше горива и ваздуха које се користе у великим отвореним моторима.

Најједноставнији СУС мотори који користе природни гас раде са природним усисавањем ваздуха и горива у цилиндар (преко карбуратора или другог миксера) током такта усисавања. Мотор са високим перформансама који користи природни гас има турбо пуњење како би се убацило више ваздуха у цилиндар. Otto мотори који користе природни гас раде на скромним односима компресије (у поређењу са Diesel моторима) у распону од 9:1 до 12:1 у зависности од дизајна мотора и турбо пуњења.

Користећи технологију високог енергетског паљења, веома лаке мешавине горива и ваздуха се могу запалити у моторима на природни гас, снижавајући максималне температуре унутар цилиндара што резултира смањењем емисије NO_x. Приступ „лаког“ сагоревања у СУС моторима је аналоган сувим ниским NO_x горионцима у гасним турбинама. Сви главни произвођачи природног гаса саветују „лако“ сагоревање и моделе са ниским емисијама штетних гасова и укључени су у истраживање и развој како би даље побољшали своје перформансе.

Ефикасност Otto мотора који користе природни гас обично је нижа од Diesel мотора због њихових нижих степена компресије. Међутим, велики Otto мотори са високим перформансама могу да премаше Diesel motore исте величине. Ефикасност мотора на природни гас креће се од 28 % (доње топлотне моћи) за мале motore (< 50 kW) до 46 % (доње топлотне моћи) за највеће motore са високим перформансама. Постизање ниских емисија NO_x обично резултира жртвовањем од 1 до 1,5 % у ефикасности производње електричне енергије од највишег степена који се може остварити.

Многи Otto мотори који користе природни гас су добијени од Diesel мотора (тј. користе исти блок, радилицу, главне лежајеве, брегасто вратило и спојне шипке као Diesel мотори). Због ефеката смањења емисије из нижег средњег ефективног притиска кочења, конвертоване верзије мањих Diesel мотора могу постићи само 60 до 80 % излазне снаге матичног дизела. Произвођачи често увећавају цилиндрични отвор за око 5 до 10% како би повећали снагу и ниво који задовољавају или премашују њихове Diesel супарнике.

Однос \$/kW основних трошкова, Otto мотора високих перформанси који користе природни гас, су обично на сличном нивоу са Diesel моторима из којих су изведени. Међутим, радом на нижим притисцима у цилиндру и оптерећењима у лежишту, као и чистијег сагоревања природног гаса (по околину), многи Otto мотори у принципу нуде предност продуженог трајања компоненте у поређењу са њиховим Diesel моторима [1].

5.2.2.2. Diesel мотори

Diesel мотори су најчешћи тип мотора у историји који се користио за мала и велика постројења за производњу електричне енергије. Међутим, у САД-у и другим индустријализованим земљама, Diesel мотори су све више ограничени на стање приправности и хитне случајеве или на ограничен радни циклус због проблема емисије штетних гасова и због високих трошкова горива. Сходно томе, Otto мотор на природни гас је мотор који је тренутно у предности када су у питању стационарна постројења производње електричне енергије (преко 500 сати годишње).

Diesel мотори са компресионим паљењем су међу најефикаснијим једноставним циклусима производње електричне енергије на тржишту. Степен ефикасности повећава се са величином мотора и креће се од око 30 % (горње топлотне моћи) за мале брзе Diesel моторе, па од 42 до 48 % (горње топлотне моћи) за велике Diesel моторе малих брзина.

- Diesel мотори мале брзине (од 60 до 275 rpm) доступни су и до 80 MW.
- Diesel мотори средње брзине (400 - 1000 rpm) доступни су до приближно 17 MW.
- Diesel мотори велике брзине (≥ 1.000 rpm) доступни су до величине од око 4 MW.

Diesel мотори обично захтевају компресију опсега од 12:1 до 17:1 за загревање цилиндарског ваздуха на температури на којој ће се убризгано гориво запалити. Квалитет убацивања горива значајно утиче на карактеристике рада Diesel мотора, ефикасност потрошње горива и емисију. Добро распршивање горива од стране инјектора је од суштинског значаја за брзо паљење, идеално сагоревање и контролу емисије.

Произвођачи се све више крећу ка електронски контролисаним системима за убризгавање под високим притиском који пружају прецизнију контролу испоруке горива и прецизног времена убризгавања. У зависности од квалитета мотора и горива, Diesel мотори производе 5 до 20 пута више NO_x него мотори на природни гас. Diesel мотори на бродовима често емитују преко 9 kg(NO_x)/MWh, на путничким моторима емитују мање од 6 kg(NO_x)/MWh. Нови Diesel мотори ће постићи стопе од приближно 0,3 kg(NO_x)/MWh.

Diesel motori такође производе издувне тешке угљоводонике и емисије чврстих честица. Међутим, Diesel motori производе знатно мање CO него Otto motori. Емисије NO_x из Diesel мотора који користе тешко гориво обично су 25 до 30 % више од Diesel мотора који користе дестилисано гориво. Уобичајене технике управљања NO_x укључују одложено убризгавање горива, рецикулацију издувних гасова, убацивање воде, емулзификацију горива, хлађење улазног ваздуха, влажење уласног ваздуха и однос компресије и/или модификације турбо пуњача. Поред тога, све већи број Diesel мотора опремљен је селективним каталитичким редуцијама и системима катализатора оксидације за смањење емисије након сагоревања.

Diesel motori високе брзине обично захтевају висококвалитетно гориво са добрим својствима сагоревања. Дестилисано гориво садржи стандардно Diesel гориво. Diesel са ниским садржајем сумпора се користи за нове Diesel моторе категорије 4 за смањење емисије сумпора. Брзи Diesel motori нису погодни за коришћење горива тежег од дестилата. Тешко гориво захтева више времена за сагоревање, а комбинација високих брзина и загађивача у тешким горивима нижег квалитета проузрокује прекомерно хабање Diesel мотора високих брзина. Многи Diesel motori средње и ниске брзине користе тежа горива, укључујући горива ниске класе [1].

5.2.2.3. СУС motori са комбинацијом два горива

СУС моторе са комбинацијом два горива углавном покреће природни гас са малим процентом додавања Diesel горива. Постоје две основне конфигурације за увођење гасовитог горива у моторе са комбинацијом два горива. Ови motori се могу добити наменском конструкцијом или конверзијом Diesel мотора. Такви motori могу се пребацити на 100 % рад Diesel мотора.

Motorи са комбинацијом два горива пружају функцију вишеструке употребе. Рад на претежно јефтинијем и чистијем гасовитом гориву дозвољава мотору да се користи у когенеративним постројењима и применама за вршна оптерећења, а рад на 100 % Diesel гориву омогућава мотору да задовољи захтеве за горивом за хитну производњу. Двострука функција даје предност у применама које имају специфичне потребе за производњом у хитним случајевима, као што је случај у болницама или јавним зградама.

На тржиштима производње нафте и гаса понуђени су нови motori са комбинацијом два горива (природни гас и Diesel) како би се смањили оперативни трошкови. Конверзијом постојећих Diesel мотора за коришћење две врсте горива такође се смањују оперативни трошкови, емисија штетних гасова и продужење радног времена за моторе са ограниченим радом какви су motori за приправност и хитне случајеве. Коришћење два горива није широко распрострањено у когенеративним системима [1].

5.2.2.4. Рекуперација топлоте

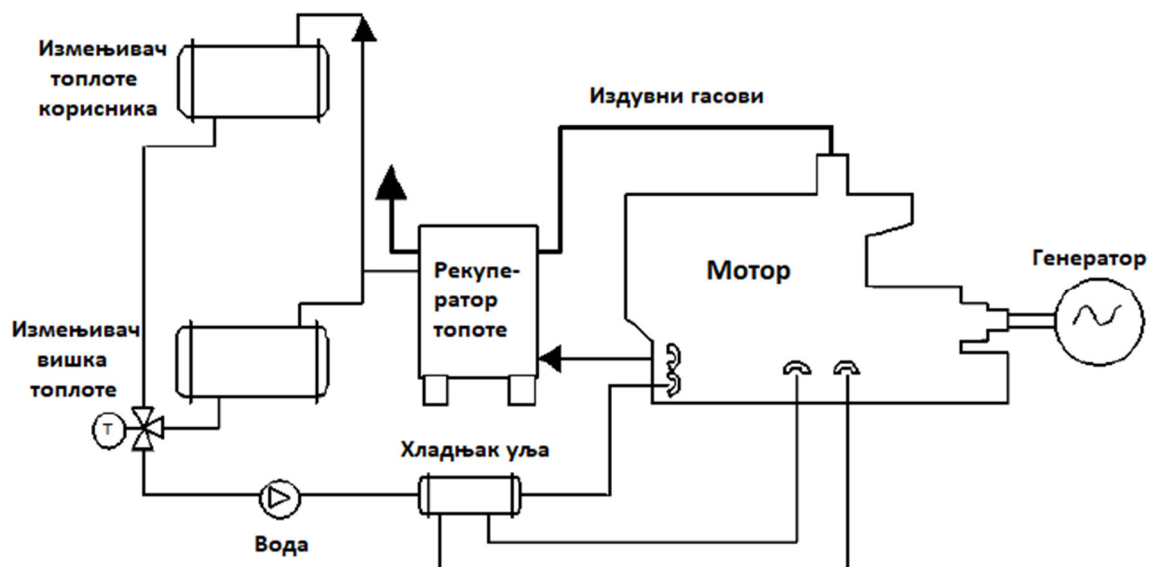
Економичност СУС мотора у применама за производњу електричне енергије често зависи од ефективне употребе топлотне енергије која се налази у издувним гасовима и системима за хлађење, што углавном представља 60 до 70 % енергије у

улазном гориву. Већина отпадне топлоте је доступна у издувним гасовима мотора и у хладњаку мотора, док се мања количина може искористити из хладњака уља и уређаја за хлађење гаса између узастопних компресија.

Од 45 до 55 % отпадне топлоте из система СУС мотора се рекуперише од расхладне воде мотора и система за хлађење уља, јер се налазе на температури која је ниска за производњу паре. Ова карактеристика је углавном мање критична у комерцијалним/ институционалним применама где су чешће присутне потребе за топлотом водом. Пара може бити произведена од топлоте из издувних гасова, ако је потребно (максимални притисак од 28 bar), али ако није потребна топла вода, количина топлоте која се добија од мотора се смањује, а укупна ефикасност система когенерације у складу са тим пада.

Грејање у расхладном механизму мотора представља до 30 % улазне енергије и може произвести врућу воду од 88 до 110 °C. Неки мотори, попут оних са високим притиском или системима за хлађење, могу радити са температурама воде до 130 °C. Излазна топлота мотора представља 30 до 50 % расположиве отпадне топлоте. Температура издувних гасова варира од 380 до 540 °C. Рекуперацијом топлоте у системима за хлађење и системима издувних гасова, око 80 % енергије горива може се ефикасно искористити за производњу електричне енергије и корисне топлотне енергије.

Најчешћи начин рекуперације топлоте мотора је затворени систем за хлађење, као што је приказано на слици 17. Ови системи за хлађење мотора су дизајнирани тако да принудном циркулацијом расхладне течности пролазе кроз мотор и спољни измењивач топлоте. Измењивач топлоте преноси топлоту мотора у расхладни торањ или радијатор када постоји вишак топлоте. Затворени системи за хлађење помоћу воде могу радити на температури хладњака од 88 до 120 °C.



Слика 17. Затворени систем за рекуперацију топлоте [1]

Системи за хлађење мотора хладе мотор природном циркулацијом кључалог расхладног средства кроз мотор. Овај тип расхладног система обично се користи у комбинацији са издувним системом за производњу нископритисне паре. Расхладна вода се уноси на дно мотора, где услед пренете топлоте почиње да кључа расхладно средство стварајући двофазни проток. Формирање мехурића смањује густину расхладног средства, што доводи до природног циркулације до врха мотора.

Расхладно средство на излазу мотора одржава се у условима засићене паре и обично се ограничава на 120 °C и максимално 1 bar. Улазна вода за хлађење је такође у близини стања засићења и углавном је мало испод излазне температуре. Јединствена температура током циркулације расхладног средства продужава животни век мотора и доприноси побољшању ефикасности сагоревања.

Топлота издувних гасова се обично користи за добијање вруће воде до око 110 °C или паре до 28 bar. Само део топлоте издувних гасова се може рекуперисати, пошто се температуре издувних гасова углавном држе изнад прагова температуре како би се спречило корозивно дејство кондензације у издувним цевима. Из тог разлога, већина уређаја за рекуперирају топлоте су дизајнирани за температуру издувних гасова од 120 до 180 °C.

Рекуперирају топлоте издувних гасова може бити независна од система хлађења мотора или повезана са њим. На пример, топла вода од хлађења мотора може се користити за снабдевање топлотом водом или за прегревање воде помоћу рекуперирају топлоте издувних гасова. У типичном систему даљинског грејања, хлађење мотора, хлађење уља, једностепено потхлађивање и рекуперирају топлоте издувних гасова интегрисани су за производњу паре [1].

5.3. Перформансе СУС мотора

Табела 21 сумира карактеристике перформанси за типичне комерцијално доступне когенерационе системе Otto мотора на природни гас са распоном величине од 100 kW до 9 MW. Ове величине обухватају већину доступних примена когенерације са погоном на СУС мотор. Приказане количине топлоте и ефикасности су узете из спецификација произвођача и публикација индустрије. Располагаива топлотна енергија узета је директно од спецификација произвођача или, ако није обезбеђена, израчуната из објављених података мотора о температурама издувних гасова мотора и токовима расхладне течности и уља мотора. Рекуперирају топлоте код когенерације заснива се на производњи топле воде за потребе одређених процеса или грејања простора.

Табела 21. Когенеративни систем Otto мотора који користи природан гас - типични параметри перформанси [1]

Карактеристике трошкова и учинка	Систем				
	1	2	3	4	5
Електрични капацитет базног оптерећења (kW)	100	633	1121	3326	9341
Укупни трошкови инсталације у 2013. (\$/kW)	2900	2837	2366	1801	1433
Стопа топлоте по произведеној електричној енергији (MJ/kWh), горња топлотна моћ	13,33	10,44	9,77	8,92	8,66
Електрична ефикасност (%), HHV	27,0%	34,5%	36,8%	40,4%	41,6%
Брзина мотора (rpm)	2500	1800	1800	1500	720
Убризгавање горива (MJ/h), HHV	1329,4	6604,6	10951	29668	80881
Захтевани притисак гасног горива (bar)	0,03-0,07	> 0,08	> 0,12	> 0,12	5,2
Карактеристике когенерације					
Температура издувних гасова (°C)	649	505	425	383	351
Топлота узета од издувних гасова (MJ/h)	221,6	1561,5	2110,1	5306,9	10551
Топлота узета од хладњака мотора (MJ/h)	485,3	759,6	1361	1719,7	4505,1
Топлота узета од уља мотора (MJ/h)	Укљ.	284,9	464,22	1181,6	5275,3
Топлота узета од међухладњака MJ/h)	n/a	327,1	622,5	3049,1	7955,1
Укупна рекуперисана топлота MJ/h)	706,9	3028	4557,8	11257	28286
Укупно рекуперисана топлота (kW)	196	815	1266	3126	7857
Облик рекуперисане топлоте	Вода	Вода	Вода	Вода	Вода, пара
Укупна ефикасност (%)	80,0%	78,9%	78,4%	78,3%	76,5%
Топлотни излаз/улаз горива (%)	53,0%	44,4%	41,6%	37,9%	35,0%
Однос електричне и топлотне енергије	0,51	0,78	0,89	1,06	1,19

Подаци у табели 21 показују да се електрична ефикасност повећава са повећањем величине мотора. Како се повећава електрична ефикасност, апсолутна количина топлотне енергије која је доступна за производњу корисне топлотне енергије смањује се по јединици излазне снаге, а однос електричне енергије и топлоте за когенеративни систем се генерално повећава. Променљиви однос електричне енергије и топлоте утиче на економију пројекта и може утицати на одлуке које доносе клијенти у смислу прихватања когенерације, димензије и жеље за продајом електричне енергије.

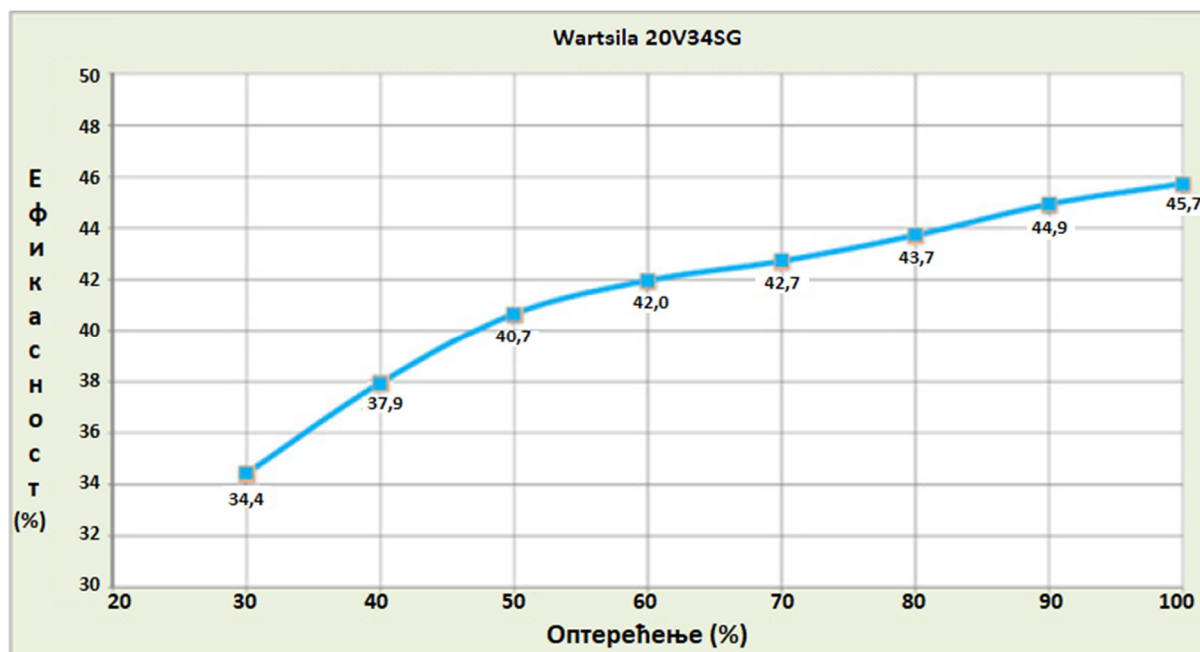
5.3.1. Перформансе при делимичном оптерећењу

Код производње електричне енергије и когенерационе примене, СУС мотори углавном покрећу синхроне генераторе са константном брзином како би произвели стабилну снагу наизменичне струје (AC). Како се оптерећење смањује, повећава се температура мотора и ефикасност опада.

Слика 18 показује криву ефикасности делимичног оптерећења за типичан мотор који користи природни гас. Ефикасност при оптерећењу од 50 % је приближно 8 до 10 % мања од ефикасности пуног оптерећења. Како се оптерећење додатно смањује, крива постаје нешто стрмија. Иако се Otto мотори упоређују са гасним турбинама, које обично

доживљавају смањење ефикасности од 15 до 25 % при условима половичног оптерећења, постављање више мотора може бити решење за једну велику јединицу како би се избегли губици где се редовно очекује значајно смањење оптерећења.

Diesel мотори показују још повољније карактеристике делимичног оптерећења од Otto мотора. Крива ефикасности за Diesel моторе је релативно равна између 50 и 100 % оптерећења.



Слика 18. Зависност оптерећења мотора у функцији електричне ефикасности (LHV) [1]

5.3.2. Утицај околних услова на перформансе

СУС мотори су обично оцењени у ISO условима температуре 25 °C и притиска 1 bar, (гасне турбине су оцењене на 15 °C). Као и гасне турбине, перформансе СУС мотора опадају како се температура или висина локације повећавају. Иако утицај на гасне турбине може бити значајан, код мотора је мањи. Ефикасност СУС мотора и електричне енергије опадају за 4 % на сваких 300 m када је надморска висина изнад 300 m, а око 1 % за сваких 5 °C изнад 25 °C.

5.3.3. Инвестициони трошкови

Овај одељак даје типичне студијске процене за трошкове инсталације Otto мотора који користе природни гас и који се користе за когенерациону примену. У табели 22 су приказани "типични" нивои цена. Такође треба напоменути да се трошкови инсталације могу значајно разликовати у зависности од обима опреме, географског подручја, конкурентних тржишних услова, посебних захтева локације, захтева за контролу емисије, превладавајућих стопа рада и од тога да ли је систем нов или реконструисан.

Цена основног пакета мотора плус трошкови за додатне системе потребне за одређену примену чине укупне трошкове опреме. Укупни трошкови постројења састоје се од укупних трошкова опреме плус инсталације рада и материјала (укључујући и рад на локацији), инжењеринга, управљања пројектима (укључујући лицензирање, осигурање, пуштање у рад и почетак), као и трошкове финансијског преноса током периода од 4 до 18 месеци изградње.

Табелом 22 дате су процене трошкова комбиноване производње топлотне и електричне енергије за три произвођача СУС мотора. Претпоставља се да когенеративни систем производи топлу воду, иако су мотори са великим снагама способни да производе пару ниског притиска. Опрема за рекуперацију топлоте се састоји од издувних гасова који узимају топлоту из издувног система, процесног измењивача топлоте ради узимања топлоте из расхладне течности мотора, циркулационе пумпе, управљачког система и цевовода. Трошкови читавог система утичу на општу заступљеност мотора. Процене трошкова инсталације вишеструких јединица дају ниже јединичне трошкове него инсталације појединачних јединица.

Табела 22. *Процењени инвестициони трошкови за когенерациони систем СУС мотора [9]*

Произвођач	„Senertec“	„North American Cogeneration Systems“			„MAN“
Номинални капацитет [kW]	5,5	7,1-10,7	20,1-23,3	30,3-35	100
Електрична ефикасност [%]	27	28,1	37,4	33,1	30,6
Топлотна ефикасност [%]	61	56,5	50,0	51,2	50,4
Инвестициони трошкови [\$ /kW]	3020	2800	1600	1300	1080

5.3.4. Одржавање и трошкови одржавања

Трошкови одржавања варирају у зависности од врсте, брзине, величине и броја цилиндара мотора. Ови трошкови обично укључују:

- Рад на одржавању;
- Делове мотора и материјале као што су филтери уља, филтери за ваздух, свећице, заптиваче, вентили, клипни прстенови, електричне компоненте, потрошни материјал као што је уље, итд.,
- Мале и велике ремонте.

Одржавање може или бити урађено од стране запослених или уговорено са произвођачима, дистрибутерима или трговцима под уговором о пружању услуга. Трошкови одржавања се разликују у зависности од величине, брзине и сервиса мотора. Многи услужни уговори сада укључују даљинско праћење перформанси и стања мотора, поред могућности превентивног одржавања. Стопе уговора о услугама обично су свеобухватне, укључујући време путовања техничара по сервисном позиву [1].

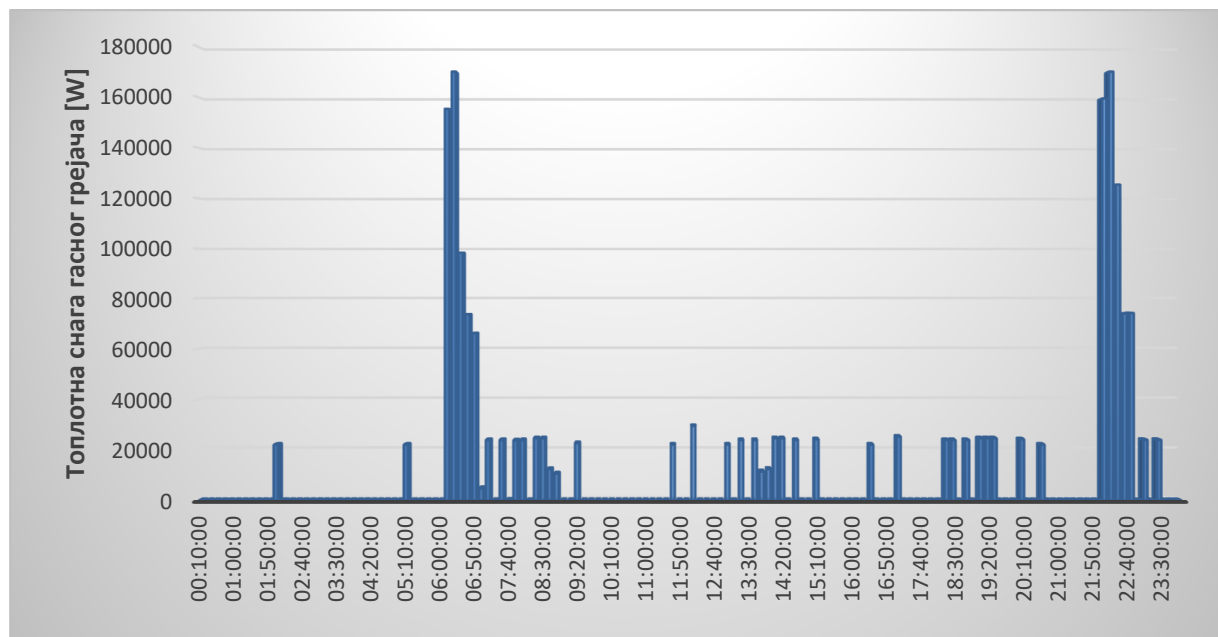
Препоручени сервис састоји се од редовних контрола кратких интервала и периодичне замене моторног уља и филтера, течности за хлађење и свећица (обично од 500 до 2000 сати). Анализа уља је део већине превентивних програма одржавања који прате стање мотора. Генерални ремонт најчешће се препоручује између 8000 и 30000 сати рада и подразумева поправке на глави цилиндра. Главни ремонт се врши након 30000 до 72000 сати рада и укључује замену клипа, проверу радилице, лежајева и заптивача. Интервали одржавања су приказани у табели 23.

Табела 23. *Репрезентативни интервали ремонта за моторе који користе природни гас при раду базног оптерећења [1]*

	Време између ремонта (хиљаде радних сати) као функција брзине мотора (опт)				
	720 опт	900 опт	1200 опт	1500 опт	1800 опт
Мали ремонт	> 30	15 -36	24 - 36	10 -20	8 -15
Велики ремонт	> 60	40 -72	48 -60	30 - 50	30 -36

На основу процена произвођача мотора, као когенеративних јединица, трошкови одржавања крећу се у границама од 0,008-0,013 \$/kWhe, изражених у функцији укупне годишње произведене електричне енергије [9].

према топлотним потребама. Да би се одредио капацитет система неопходно је познавати профил топлотних потреба (топлотне снаге) у току дана, месеца или године. На слици 20 приказан је профил топлотне снаге гасног грејача за дан максималних потреба за ПТВ.



Слика 20. Профил топлотне снаге гасног грејача за дан максималних потреба за ПТВ

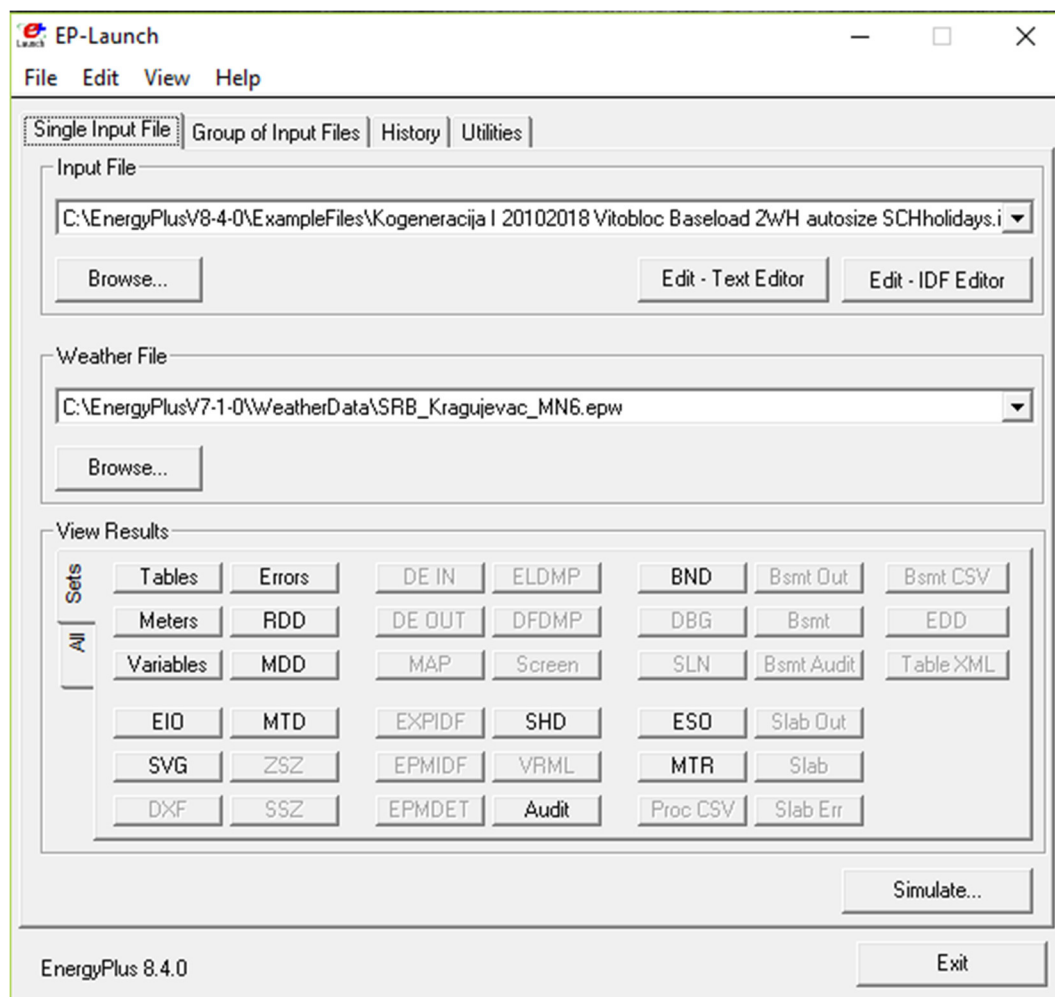
Подаци са слике доводе до закључка да је учешће топлотне снаге, у току дана, у износу до 25 kW 76%, а преко 25 kW 24%. На основу поменутих података усвојена је когенеративна јединица СУС мотора, марке Viessmann Vitobloc 200 EM-9/20, чије су техничке карактеристике дате табелом 24.

Табела 24. Техничке карактеристике когенеративне јединице СУС мотора марке Viessmann Vitobloc 200 EM-9/20 [10]

Проценат оптерећења [%]	50	75	100
Електрична снага [kW]	4,3	6,4	8,5
Топлотна снага [kW]	12,3	16,1	20,1
Топлотна снага горива [kW]	18,3	23,8	30,1
Електрична ефикасност [%]	23,5	26,9	28,2
Топлотна ефикасност [%]	67,2	67,6	66,8
Максимална температура воде за рекуперацију топлоте [°C]	65		
Максимална температура издувних гасова [°C]	100		

6.2. EnergyPlus

EnergyPlus (слика 21) је програм који омогућава спровођење енергетских анализа и симулација енергетског понашања објеката и термотехничких система. Намењен је инжењерима и архитектама, а његовом употребом се добијају резултати потрошње енергије грејања, хлађења, вентилације, осветљења, електричних уређаја као и потрошње топле санитарне воде у грађевинским објектима.



Слика 21. Почетни прозор EnergyPlus-a

На слици 22 је приказана картица у којој се подешавају параметри везани за локацију објекта.

Field	Units	Obj1
Name		Kragujevac_SRB
Latitude	deg	44.02
Longitude	deg	20.92
Time Zone	hr	1
Elevation	m	209

Слика 22. Картица Site:Location

На слици 23 је приказана картица RunPeriod у којој се може видети да се случај симулира за читаву годину, од 1.1. до 31.12. за 2017. годину.

Field	Units	Obj1
Name		Grejna sezona
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		Thursday
Use Weather File Holidays and Special Days		No
Use Weather File Daylight Saving Period		No
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		
Start Year		

Слика 23. *Картица RunPeriod*

Картице Schedule:Compact и Schedule:File приказане су на сликама 24 и 25. Schedule:Compact картица дефинише распореде који се уносе у сам EnergyPlus, док Schedule:File дефинише распореде преко Excell табела на које се позива из фолдера „dataset“.

Field	Units	Obj60	Obj61
Name		Hours_of_operation	Hours_of_operation
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 01/07	Through: 01/07
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 06:00	Until: 07:00
Field 4	varies	0	0
Field 5	varies	Until: 06:20	Until: 08:40
Field 6	varies	0	0
Field 7	varies	Until: 06:50	Until: 13:00
Field 8	varies	0	0
Field 9	varies	Until: 22:00	Until: 14:40
Field 10	varies	0	0
Field 11	varies	Until: 22:20	Until: 18:00
Field 12	varies	0	0
Field 13	varies	Until: 22:50	Until: 19:40
Field 14	varies	0	0
Field 15	varies	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 16	varies	0	0
Field 17	varies	Through: 01/08	Through: 01/08
Field 18	varies	For: AllDays	For: AllDays

Слика 24. *Картица Schedule:Compact*

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Raspored ljudi resto	Osvetljenje kupatilo	Elektricni uređaji tro
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction
File Name		..\datasets\TDV\R	..\datasets\TDV\R	..\datasets\TDV\R
Column Number		7	9	1
Rows to Skip at Top		0	0	0
Number of Hours of Data				
Column Separator		Comma	Comma	Comma
Interpolate to Timestep				
Minutes per Item				

Слика 25. Картица *Schedule:File*

Слика 26 приказује картицу *BuildingSurface:Detailed* која приказује карактеристике површина објекта.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		PLAFON HOD I KA	PLAFON HOD I SA	PLAFON HOD I KA
Surface Type		Ceiling	Ceiling	Ceiling
Construction Name		Panel - PL	Panel - PL	Panel - PL
Zone Name		Hodnik I sprat Therr	Hodnik I sprat Therr	Hodnik I sprat Therr
Outside Boundary Condition		Surface	Surface	Surface
Outside Boundary Condition Object		POD S12 II KA HOD	POD HOD II KA HOD	POD S12 II KA HOD
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground				

Слика 26. Картица *BuildingSurface:Detailed*

На сликама 27, 28 и 29 приказане су картице *People*, *Lights* и *ElectricEquipment* у којима се дефинише присуство људи, количина осветљења и број електричних уређаја. Такође, дефинише се топлотна енергија коју одају људи, осветљење и електрични уређаји као и електрична енергија која се утроши за осветљење и електричне уређаје [11].

Field	Units	Obj11	Obj12
Name		Ljudi soba 11 I sprat	Ljudi kupatilo I sprat
Zone or ZoneList Name		Soba 11 I sprat The	Kupatilo I sprat The
Number of People Schedule Name		Raspored ljudi cetv	Raspored ljudi kupa
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		4	4
People per Zone Floor Area	person/m2		
Zone Floor Area per Person	m2/person		
Fraction Radiant		0.3	0.3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Aktivnost ljudi	Aktivnost ljudi
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-w	0.0000000382	0.0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged

Слика 27. Картица *People* [11]

Field	Units	Obj8	Obj9
Name		Osvetljenje soba 8 I	Osvetljenje soba 9 I
Zone or ZoneList Name		Soba 8 I sprat Therr	Soba 9 I sprat Therr
Schedule Name		Osvetljenje cetvorol	Osvetljenje cetvorol
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level	W	36	36
Watts per Zone Floor Area	W/m2		
Watts per Person	W/person		
Return Air Fraction		0	0
Fraction Radiant		0.42	0.42
Fraction Visible		0.18	0.18
Fraction Replaceable		0	0
End-Use Subcategory		General	General
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature		No	No
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co			
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co	1/K		

Слика 28. Картица Lights [11]

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Elektricni uredjaji so	Elektricni uredjaji sot
Zone or ZoneList Name		Soba 1 I sprat Therr	Soba 2 I sprat Therr
Schedule Name		Elektricni uredjaji tro	Elektricni uredjaji tro
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	270	270
Watts per Zone Floor Area	W/m2		
Watts per Person	W/person		
Fraction Latent		0	0
Fraction Radiant		0.3	0.3
Fraction Lost		0	0
End-Use Subcategory		General	General

Слика 29. ElectricEquipment [11]

Картица WaterUse:Equipment, приказана на слици 30 дефинише места у којима се јавља потрошња ПТВ.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Kupatilo	Restoran	Kuhinja	Veseraj
End-Use Subcategory		Potrosnja - Kup	Potrosnja - Re	Potrosnja - Kul	Potrosnja - Ves
Peak Flow Rate	m3/s	0.00144375	0.0001025	0.000205	0.0001044444
Flow Rate Fraction Schedule Name		Hours_of_ope	Hours_of_ope	Hours_of_ope	Hours_of_ope
Target Temperature Schedule Name		ZN_1_FLR_1	ZN_1_FLR_1	Target Tempe	ZN_1_FLR_1
Hot Water Supply Temperature Sched		Kupatilo_DEF	Restoran_DEF	Kuhinja_DEFA	Veseraj_DEFA
Cold Water Supply Temperature Sche					
Zone Name					
Sensible Fraction Schedule Name					
Latent Fraction Schedule Name					

Слика 30. Картица WaterUse:Equipment

На слици 31 је приказана картица Output:Variable у којој се дефинишу потребни излазни параметри и временски интервал читавања резултата.

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Water Heater Use \$	Water Heater Use \$
Reporting Frequency		timestep	timestep
Schedule Name			

Слика 31. Картица Output:Variable

6.3. Једначине коришћеног математичког модела гасног мотора као когенеративне јединице

Једначине математичког модела рада гасног мотора као когенеративне јединице, уграђеног у софтверу EnergyPlus дате су у наставку [12]:

$$\frac{E_C}{F_C} = \frac{E_C}{\dot{m}_{fuel} \cdot LHV} = a_1 + a_2 PLR + a_3 PLR^2$$

где су:

E_C - произведена електрична енергија [J];

F_C - енергија употребљеног горива [J];

$\dot{m}_{fuel}$ - масени проток горива [kg/s];

LHV - доња топлотна моћ горива [J/kg];

a_1 , a_2 и a_3 - коефицијенти ($a_1 = 0,004$; $a_2 = 0,644$; $a_3 = -0,371$ [10]) и

PLR - фактор оптерећења ($PLR = E_C/NE_C$, где је NE_C номинални капацитет мотора [J]).

Коефицијенти су изведени из техничких података које доставља произвођач [10].

Температура издувних гасова и брзина протока се користе ако се користи измењивач топлоте за рекуперацију отпадне топлоте из издувних гасова. Ова температура је улазна температура у измењивач топлоте:

$$\frac{H_{exh}}{F_C} = \frac{H_{exh}}{\dot{m}_{fuel} \cdot LHV} = d_1 + d_2 PLR + d_3 PLR^2$$

$$\frac{T_{exh}}{F_C} = \frac{T_{exh}}{\dot{m}_{fuel} \cdot LHV} = e_1 + e_2 PLR + e_3 PLR^2$$

где су:

H_{exh} - рекуперисана топлота издувних гасова [J];

d_1 , d_2 и d_3 - коефицијенти ($d_1 = 0,1965$; $d_2 = 0$; $d_3 = 0$ [10]);

T_{exh} - температура издувних гасова [K] и

e_1 , e_2 и e_3 - коефицијенти ($e_1 = 373$; $e_2 = 0$; $e_3 = 0$ [10]).

Масени проток издувних гасова се затим израчунава као:

$$\dot{m}_{\text{exh}} = \frac{H_{\text{exh}}}{c_{p_{\text{exh}}} \cdot (T_{\text{exh}} - T_{\text{ref}})}$$

где су:

$\dot{m}_{\text{exh}}$ - масени проток издувних гасова [kg/s];

$c_{p_{\text{exh}}}$ - специфична топлота издувних гасова [J/kgK] и

T_{ref} - референтна температура (25 °C) [K].

Рекуперисана топлота уља за подмазивање и медијума за хлађење мотора се израчунава на следећи начин:

$$\frac{H_w}{F_c} = \frac{H_w}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}} = b_1 + b_2 \text{PLR} + b_3 \text{PLR}^2$$

$$\frac{H_L}{F_c} = \frac{H_L}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}} = c_1 + c_2 \text{PLR} + c_3 \text{PLR}^2$$

Где су:

H_w - рекуперисана топлота медијума (воде) за хлађење мотора [J];

H_L - рекуперисана топлота уља за подмазивање [J];

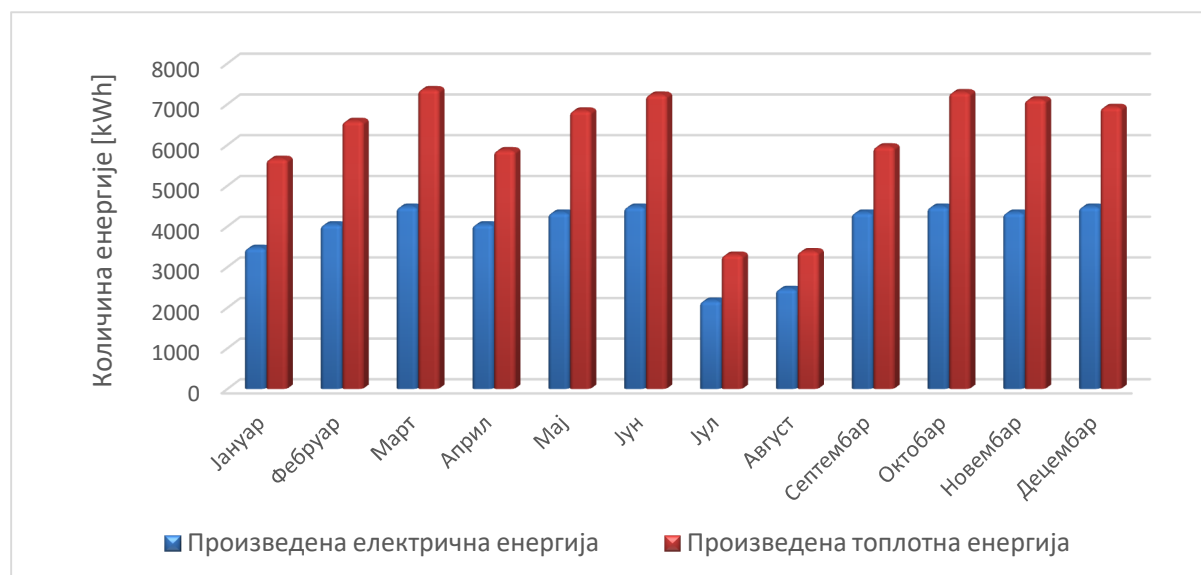
b_1, b_2 и b_3 - коефицијенти ($b_1 = 0,2866$; $b_2 = 0$; $b_3 = 0$ [10]) и

c_1, c_2 и c_3 - коефицијенти ($c_1 = 0,1719$; $c_2 = 0$; $c_3 = 0$ [10]).

7. Резултати и поређење резултата

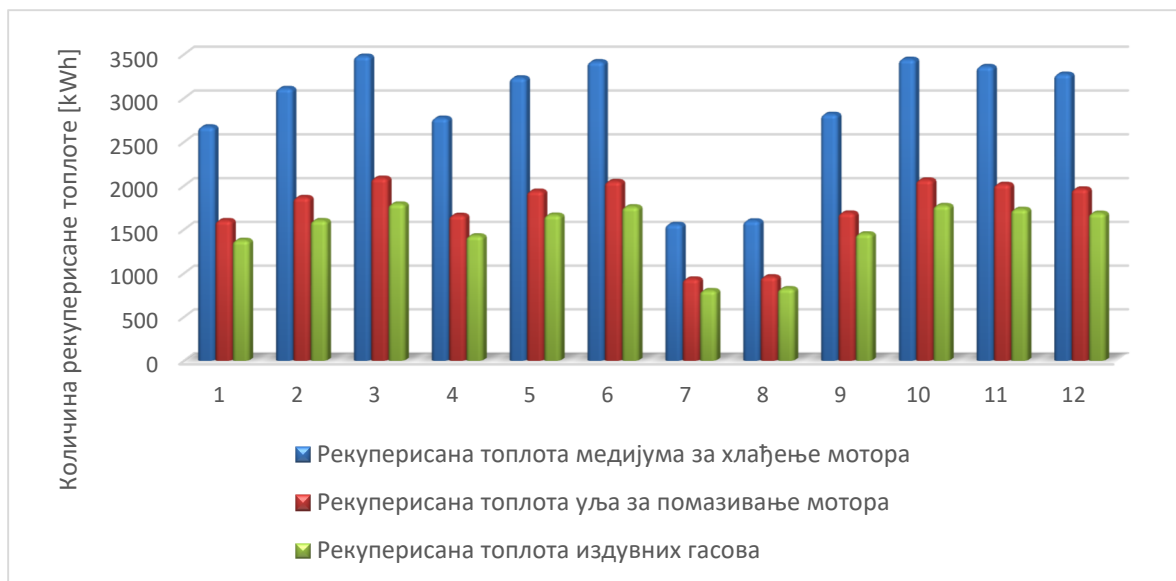
Тема овог рада везана је за загревање ПТВ у студентском дому уз помоћ конгенеративне јединице гасног мотора са гасним догрејачем (сценарио 1). Поред наведеног, основног начина загревања ПТВ, за потребе поређења, урађена је симулација система за загревање ПТВ искључиво помоћу грејача који користи природни гас (сценарио 2), као и сценарио у којем се загревање врши искључиво помоћу грејача који користи електричну енергију (сценарио 3).

Когенерациона јединица је димензионисана тако да обезбеђује минималну потребу за топлотном енергијом студентског дома. Гасни догрејач се користи у периодима када је потреба за топлотном енергијом већа. Гасни мотор ради у периоду од 06:00-23:00 h. Произведена електрична и топлотна енергија анализирани когенеративне јединице на месечном нивоу приказана је на слици 32.



Слика 32. Износи произведене електричне и топлотне енергије анализирани когенеративне јединице

На слици 33 су приказане апсолутне вредности рекуперисане топлоте у оквиру когенеративне јединице на месечном нивоу за потребе припреме ПТВ (сценарио 1), док је на слици 34 дата процентуална расподела рекуперисане топлоте. Највише топлоте се рекуперише од медијума за хлађење (47 %), затим од уља за подмазивање мотора (29 %), а најмање од издувних гасова (24 %). Укупно произведена топлотна енергија на годишњем нивоу износи 73501 [kWh].



Слика 33. Месечни износи рекуперисане топлоте у оквиру когенеративне јединице

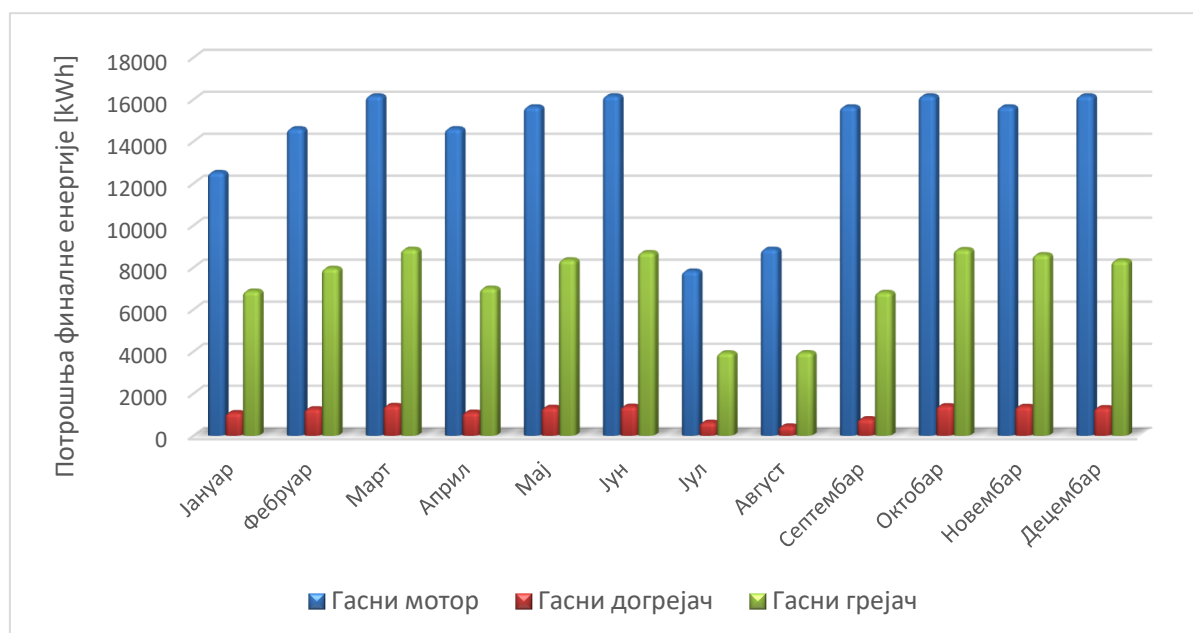


Слика 34. Процентуална расподела рекуперисане топлоте у оквиру когенеративне јединице

7.1. Поређење сценарија 1 и 2

Поређење сценарија 1 и 2 представља поређење когенеративног гасног мотора са гасним догрејачем и гасног грејача. На слици 35 је приказано поређење месечне потрошње финалне енергије.

На годишњем нивоу, при сценарију 1 потроши се 183761,4 kWh природног гаса, док при сценарију 2 потрошња износи 88233,8 kWh природног гаса. Разлика у годишњој потрошњи финалне енергије износи 95527,6 kWh природног гаса у корист гасног грејача.



Слика 35. *Поређење месечне потрошња финалне енергије за сценарио 1 и 2*

Узимајући у обзир само потрошњу финалне енергије, јасно је да је коришћење гасног грејача далеко повољније, међутим, когенерација, поред производње топлотне енергије подразумева и производњу електричне енергије која је приказана на слици 36. Са слике се може уочити да производња електричне енергије у когенеративној јединици премашује потребе студентског дома.



Слика 36. *Приказ произведене и потрошене електричне енергије на месечном нивоу*

Електрична енергија коју когенеративна јединица произведе се утроши на подмиривање потреба студентског дома за електричном енергијом, а вишак електричне енергије се продаје дистрибутивном предузећу, при чему се добија новчана накнада.

На годишњем нивоу, когенеративно постројење произведе 47107 kWh, а потребе студентског дома, односно његов утрошак електричне енергије износи 11531,6 kWh. Укупна количина електричне енергије за потребе студентског дома се користи за рад осветљења, електричних уређаја и циркулационих пумпи.

Разлика између произведене електричне енергије и електричне енергије коју дом утроши износи 35575,4 kWh и ова вредност представља количину електричне енергије која се продаје дистрибутивној мрежи.

У табели 25 је приказано поређење оперативних трошкова сценарија 1 и 2 на годишњем нивоу, као и период отплате сценарија 1 при поређењу са сценаријом 2.

Цена утрошеног природног гаса на годишњем нивоу се добија када се количина утрошеног природног гаса у $\text{m}^3/\text{год}$ помножи са 32,28 РСД/ m^3 , колика је усвојена просечна цена. Доња топлотна моћ гаса износи 38,23 MJ/ m^3 .

Трошкови утрошене електричне енергије за потребе студентског дома на годишњем нивоу се добијају када се укупна количина утрошене електричне енергије у kWh/год распореди по тарифама (зелена, плава и црвена) и помножи са одговарајућом ценом тарифа. При прорачуну трошкова, а на основу профила потрошње електричне енергије, усвојено је да је 67 % електричне енергије утрошено у вишој тарифи, а 33 % у нижој. Вредности тарифа, према зонама потрошње, су дате у наставку:

- ЗЕЛЕНА ЗОНА - до 350 kWh, 4,395 РСД/kWh
- ПЛАВА ЗОНА - од 351 до 1250 kWh, 6,592 РСД/kWh
- ЦРВЕНА ЗОНА - преко 1251 kWh, 13,184 РСД/kWh

Приход од продате електричне енергије на годишњем нивоу се добија када се укупна количина продате електричне енергије (kWh/год) помножи са подстицајном откупном ценом електричне енергије за електране са комбинованом производњом која износи 10,535 РСД/kWh (табела 5).

Разлика трошкова сценарија 1 и 2 износи 217988,58 РСД на годишњем нивоу у корист сценарија 1, што доводи до закључка да је употреба когенеративне јединице гасног мотора са гасним догрејачем повољнија од случаја када се за припрему ПТВ користи искључиво гасни грејач.

Инвестициони трошкови когенеративног постројења из сценарија 1 износе 2800 \$/kW (табела 22) за номинални капацитет примењене когенеративне јединице који износи 8,5 kW. Према томе, укупни инвестициони трошкови когенеративне јединице износе 2451400 РСД.

Просечни трошкови одржавања когенеративне јединице СУС мотора износе 0,0105 \$/kWh [9]. Количина произведене електричне енергије у когенеративној јединици на годишњем нивоу износи 47107 kWh. Према томе, укупни трошкови одржавања на годишњем нивоу износе 50946,2 РСД.

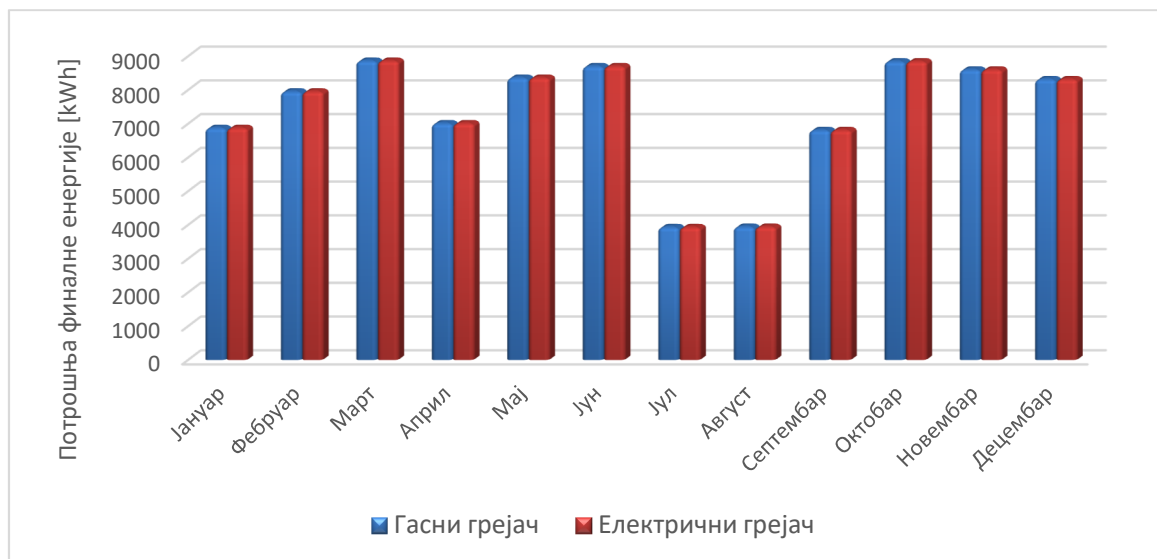
Период отплате когенеративне јединице гасног мотора са гасним догрејачем у случају када се пореди са гасним грејачем износи 14,7 год.

Табела 25. *Поређење оперативних трошкова сценарија 1 и 2 на годишњем нивоу*

	Сценарио 1	Сценарио 2
Количина утрошеног природног гаса [kWh/год]	183761,44	88233,76
Количина утрошеног природног гаса HHV [m³/год]	17304,24	8308,7
Трошкови утрошеног природног гаса [РСД/год]	558580,96	268204,8
Количина утрошене електричне енергије [kWh/год]	11531,63	11531,63
Трошкови утрошене електричне енергије [РСД/год]	-	66789,12
Приход од неутрошене електричне енергије [РСД/год]	66789,12	-
Произведена електрична енергија [kWh/год]	47107	-
Количина продате електричне енергије [kWh/год]	35575,37	-
Приход од продате електричне енергије [РСД/год]	374786,5	-
Укупни трошкови [РСД/год]	117005,34	334993,92
Разлика трошкова [РСД/год]	217988,58	
Инвестициони трошкови [РСД]	2451400	
Оперативни трошкови [РСД/год]	50946,2	
Период отплате [год]	14,7	

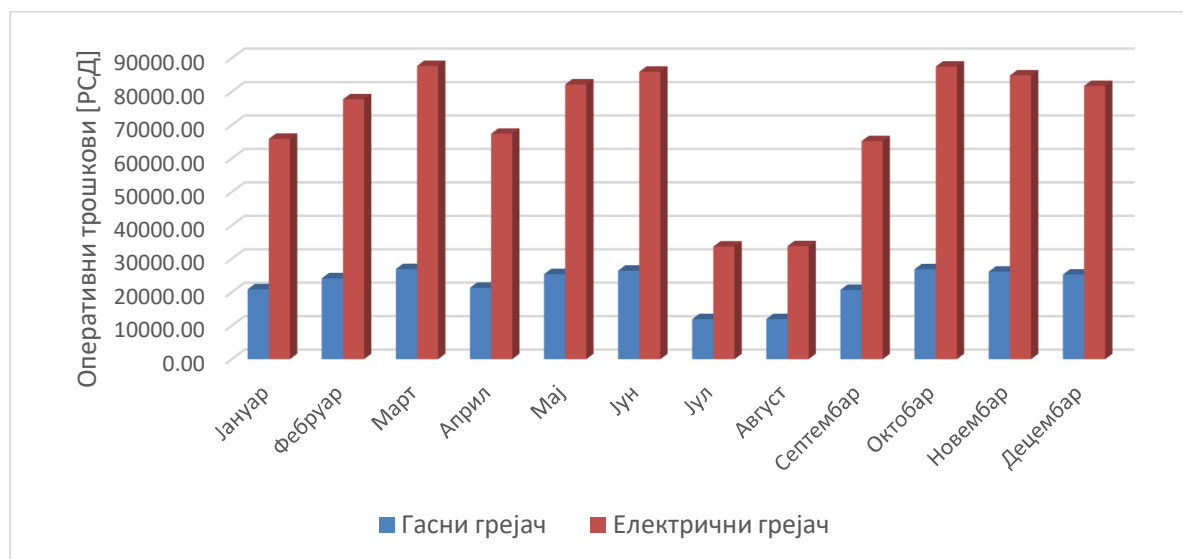
7.2. Поређење сценарија 2 и 3

Поређење сценарија 2 и 3 представља поређење припреме ПТВ искључиво помоћу гасног грејача и припреме ПТВ помоћу искључиво електричног грејача. На слици 37 је приказано поређење месечне потрошње финалне енергије за ова два сценарија. Потрошња финалне енергије сценарија 2 и 3 је идентична, са разликом што се као финална енергија у сценарију 2 користи природни гас, а у сценарију 3 електрична енергија.



Слика 37. *Поређење месечне потрошње финалне енергије за сценарио 2 и 3*

Код поређења оперативних трошкова (слика 38) долази до изражаја предност гаса у погледу цене. Цена грејања ПТВ помоћу гасног грејача је финансијски знатно повољнија у односу на грејање ПТВ помоћу електричног грејача.



Слика 38. *Поређење оперативних трошкова сценарија 2 и 3 на месечном нивоу*

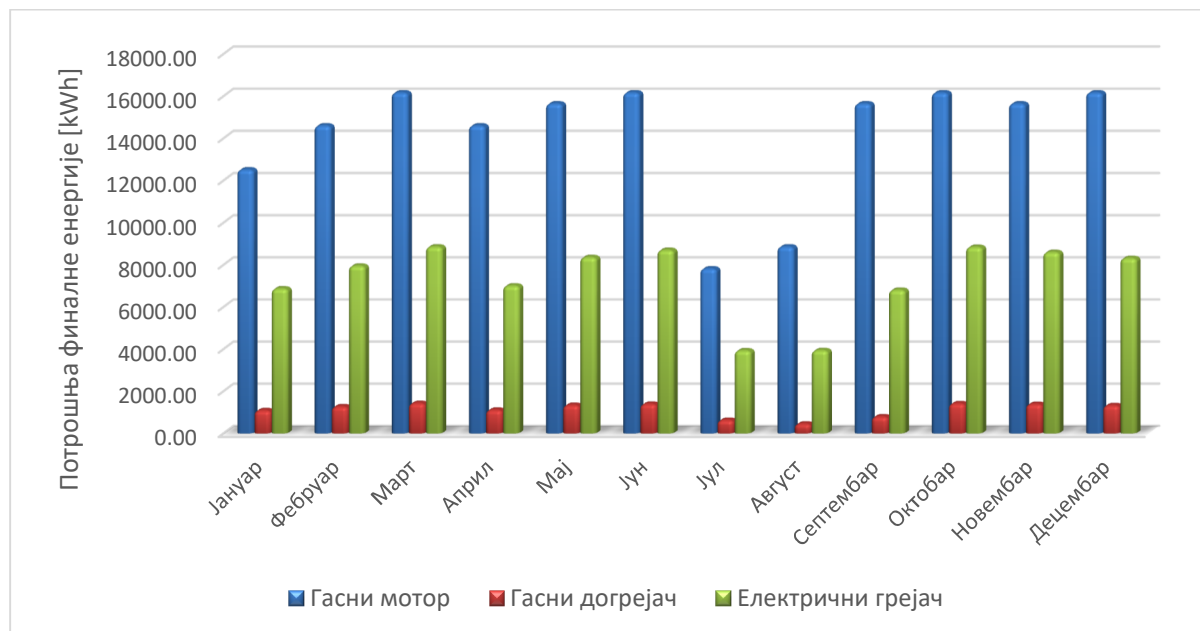
У табели 26 су приказани укупни годишњи оперативни трошкови за поређене сценарије. Трошкови сценарија 3, односно електричног грејача су скоро три пута већи у односу на трошкове гасног грејача. Разлика у оперативним трошковима између ова два сценарија износи 585169,93 РСД у корист сценарија 2.

Табела 26. *Вредности укупних годишњих оперативних трошкова за сценарије 2 и 3*

Сценарио	2	3
Укупни оперативни трошкови [РСД]	268204,8	853374,72

7.3. Поређење сценарија 1 и 3

При поређењу сценарија 1 и 3, пореди се когенеративни гасни мотор и гасни догрејач са електричним грејачем. На слици 39 је приказано поређење месечне потрошње финалне енергије за ова два сценарија.



Слика 39. Месечна потрошња финалне енергије за сценарио 1 и 3

У табели 27 је приказано поређење оперативних трошкова сценарија 1 и 3 на годишњем нивоу. Вредности трошкова су израчунате на начин који је описан у одељку 7.1., са разликом да је сада усвојено да је 50 % електричне енергије утрошено у вишој тарифи, 50% у нижој. Вредности тарифа, према зонама потрошње, су дате у наставку:

- ЗЕЛЕНА ЗОНА - до 350 kWh, 3.65 РСД/kWh
- ПЛАВА ЗОНА - од 351 до 1250 kWh, 5.475 РСД/kWh
- ЦРВЕНА ЗОНА - преко 1251 kWh, 10.95 РСД/kWh

Количина утрошене електричне енергије се састоји од количине утрошене електричне енергије за потребе студентског дома и количине утрошене енергије за припрему ПТВ, односно за рад електричног грејача.

Разлика укупних трошкова на годишњем нивоу између сценарија 1 и 3 износи високих 862640,75 РСД у корист сценарија 1, односно когенеративне јединице гасног мотора са гасним догрејачем у односу на електрични грејач.

Период отплате когенеративне јединице гасног мотора са гасним догрејачем у овом случају када се пореди са електричним грејачем износи 3 год.

Табела 27. *Поређење оперативних трошкова сценарија 1 и 3 на годишњем нивоу*

	Сценарио 1	Сценарио 3
Количина утрошеног природног гаса (kWh/год)	183761,44	-
Количина утрошеног природног гаса HHV (m³/год)	17304,24	-
Трошкови утрошеног природног гаса (РСД/год)	558580,96	-
Количина утрошене електричне енергије (kWh/год)	11531,63	99765,39
Трошкови утрошене електричне енергије (РСД/год)	-	979646,09
Приход од неутрошене електричне енергије (РСД/год)	66789,12	-
Произведена електрична енергија (kWh/год)	47107	-
Количина продате електричне енергије (kWh/год)	35575,37	-
Приход од продате електричне енергије (РСД/год)	374786,5	-
Укупни трошкови (РСД/год)	117005,34	979646,09
Разлика трошкова (РСД/год)	862640,75	
Инвестициони трошкови (РСД)	2451400	
Оперативни трошкови [РСД/год]	50946,2	
Период отплате (год)	3	

8. Закључак

У овом раду анализирана је примена когенеративне јединице мотора са унутрашњим сагоревањем који користи природан гас за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије за потребе студентског дома. Произведена количина топлотне енергије се користи за припрему ПТВ за потребе студентског дома, док се произведена електрична енергија користи за задовољавање потреба студентског дома за електричном енергијом, а вишак се продаје дистрибутивном предузећу. Приоритет когенеративне јединице је задовољавање потреба за топлотном енергијом.

У раду су анализирана и поређена три сценарија, односно начина припреме ПТВ:

- Помоћу когенеративног гасног мотора са догрејачем на природни гас (сценарио 1);
- Искључиво помоћу гасног грејача (сценарио 2) и
- Искључиво помоћу електричног грејача (сценарио 3).

На основу добијених резултата симулације рада система у софтверу EnergyPlus и поређења истих, долази се до битних закључака.

Потрошња финалне енергије је највиша код сценарија 1 (183761,44kWh природног гаса). Количина потрошене финалне енергије за сценарио 2 и сценарио 3 је иста с тим што постоји разлика у врсти финалне енергије.

Укупни годишњи трошкови код сценарија 1 износе 117005,34 РСД, код сценарија 2 износе 334993,92 РСД, а код сценарија 3 979646,09 РСД.

На основу резултата се закључује да је коришћење електричног грејача најмање повољнија опција по сваком критеријуму (финална енергија (примарна енергија) и оперативни трошкови).

Период отплате когенеративне јединице (сценарио 1) при поређењу са гасним грејачем (сценарио 2) износи 14,7 год, а при поређењу са електричним грејачем (сценарио 3) износи 3 год. Треба напоменути да су при прорачуну периода отплате у обзир узети и оперативни трошкови гасног мотора на годишњем нивоу, а занемарени трошкови одржавања система који укључује гасни односно електрични грејач. Релативно висок период отплате је последица ниске потрошње електричне енергије у оквиру дома, ниске цене електричне енергије у Србији као и чињенице да није разматрана потрошња електричне енергије електричних уређаја у кухињи. Између осталог усвојена је и вредност ефикасности гасног грејача од 0,9.

9. Литература

- [1] Darrow, K., Tidball, R., Wang, J., Hampson, A., *Catalog of CHP Technologies*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 2017.
- [2] Урошевић, Д., *Развој модела за енергетско вредновање сложених когенеративних постројења*, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2014.
- [3] Choustoulakis, P., Malamatenios, C., Grepmeier, K., Babeck, A., Moller, C., *Training Guide on Combined Heat & Power Systems*, CRES & ZREU, 2001.
- [4] Николић, Н., *Предавања из предмета Даљинско грејање и снабдевање гасом*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017.
- [5] Frangopoulos, C., Ramsay, B., *The European Educational Tool on Cogeneration*, University of Dundee, Dundee, 2001.
- [6] Министарство рударства и енергетике, <http://www.mre.gov.rs/energetska-efikasnost-obnovljivi-izvori.php> (приступљено 04.09.2018.)
- [7] Energetski portal, <https://www.energetskiportal.rs/ministarstvo/fid-in-tarife/> (приступљено 23.08.2018.)
- [8] Петровић Д., *Потрошња топле санитарне воде у једном студентском дому (завршни рад)*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017.
- [9] Knight, I., Ugursal, I., *Residential Cogeneration Systems: A Review of The Current Technologies*, Energy Technology and Programmes Sector - Department of Natural Resources Canada, Ottawa, 2005.
- [10] Viessmann catalog, <https://www.viessmann.com/com/en.html> (приступљено 15.10.2018.)
- [11] Даговић, В., *Утицај начина дефинисања распореда присуства људи, рада осветљења и електричних уређаја на топлотне добитке и потрошњу електричне енергије (завршни рад)*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2017.
- [12] EnergyPlus Documentation: *Engineering Reference*, US Department of Energy, Washington, 2015.