

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Грејање, климатизација и соларна енергија

Број индекса: 151/2014

Душан Д. Петровић

**Потрошња топле санитарне воде у
једном студентском дому
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Доцент, др Новак Николић – Ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Резиме рада

Тема овог рада је везана за потрошњу топле санитарне воде и димензионисању акумулатора топлоте који би задовољио потребе једног студентског дома (595,9 m²). За локацију је узет град Крагујевац. Просторије које су дефинисане као потрошачи топле санитарне воде су: купатила, ресторан, кухиња и вешерај. Након извршене детаљне анализе потрошње и одређивања периода са највећим потребама за водом, приступило се израчунавању потребне снаге грејача (170 kW) и запремине акумулатора топлоте (3200 m³). Симулација рада система за припрему топле потрошне воде је извршена у софтверу EnergyPlus. Како су потребе за топлотом водом у већем делу дана значајно мање, уместо једног великог резервоара од 3200 l усвојила би се два или више мања, због оптималног рада грејача. Укупна дневна и годишња потрошња електричне енергије грејача акумулатора топлоте износи 324,94 и 118600,56 kWh, респективно.

Кључне речи: топла потрошна вода, прорачун, симулација, студенски дом.

Abstract

The topic of this paper is related to the consumption of service hot water and the dimensioning of the water heater which would meet the needs of a student dormitory (595.9 m²). The city of Kragujevac was taken for the location. Rooms that are defined as consumers of service hot water are: toilets (bathrooms), restaurant, kitchen and laundry. After detailed analysis of the consumption and determination of the period with the highest water requirements, the necessary capacity of the heater (170 kW) and the volume of the tank (3200 m³) was calculated. Simulation of the service hot water system is done in the EnergyPlus software. As the need for hot water in much of the day is significantly less, instead of one large tank of 3200 l, it would have been adopted two or more smaller, due to the optimal operation of the heater. The total daily and annual electricity consumption of water heater is 324.94 and 118600.56 kWh, respectively.

Keywords: service hot water, calculation, simulation, student dormitory

Садржај

1. Увод.....	4
2. Опис студенског дома	5
2.1. Изглед објекта.....	5
2.2. Грађевинске конструкције објекта	9
2.3. Локација и услуге дома.....	11
3. Моделирање објекта	12
3.1. SketchUp	12
3.2. OpenStudio.....	13
4. Прорачун потрошње топле санитарне воде	14
4.1. Потрошња топле воде укупатилима	14
4.2. Потрошња топле воде у ресторану	17
4.3. Потрошња топле воде у кухињи	19
4.4. Потрошња топле воде у вешерају.....	22
4.5. Укупна потрошња топле воде објекта	22
5. Прорачун потребне количине топлоте за загревање топле воде и запремине акумулатора топлоте.....	26
6. Симулација	28
7. Резултати.....	31
8. Закључак	34
9. Литература.....	35

1. Увод

Једна од најважнијих ствари на свету јесте вода и као таква представља основни елемент потребан за живот на Земљи. Данас вода чини 70% укупне површине планете. Међутим само мали део те количине је доступан људима у смислу да је могу користити за пиће и друге потребе. Око 2,5 милијарди људи у овом тренутку располаже минималним санитарним условима који се односе и на водоснабдевање, док половина земаља у развоју пати од болести настале као узрок неисправне воде за пиће. Како за пиће вода је људима потребна за припремање хране, одржавање хигијене, као и многобројне процесе у индустрији и пољопривреди. Због константног пораста потрошње настоји се за смањивањем њене потрошње на различите начине. Један од таквих начина је регионално коришћење топле воде. Топла вода се свакодневно користи у кухињама за припремање оброка, прање судова, купање, прање одеће и слично. На слици 1 је приказана просечна потрошња воде у току дана. Приликом припремања топле санитарне воде повећава се и добар део потрошње електричне енергије. Како би се задовољила ова два услова потребно је правилно изабрати технички систем за припремање санитарне топле воде. У зависности од намене објекта разликоваће се и потребе за потрошњом топле санитарне воде. Тема овог рада јесте израчунавање потребне количине санитарне топле воде као и одређивање количине топлоте за загревање за загревање исте (потребне снаге грејача и запремине бојлера) у једном студентском дому. Како би се правилно пројектовао систем загревања воде потребно је познавати укупну потрошњу воде, као и дневну динамику потрошње воде у самом објекту. Укупна потрошња воде студентског дома обухвата потрошњу воде у кухињи, купатилима, ресторану и вешерници.

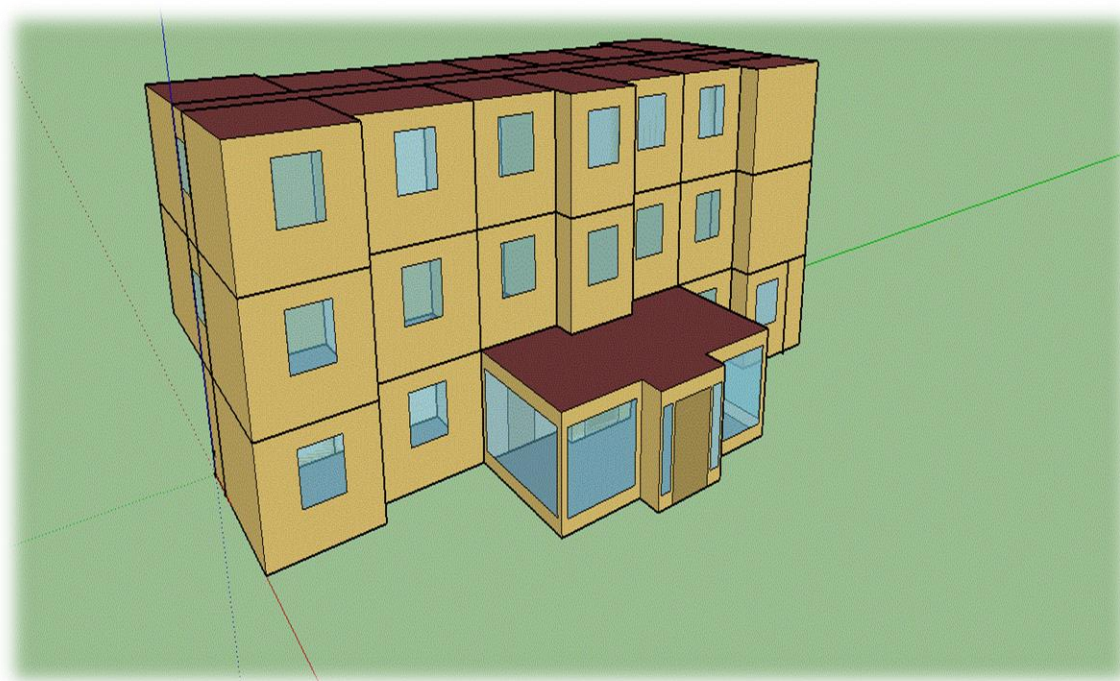


Слика 1. Просечна потрошња воде у току дана [1]

2. Опис студентског дома

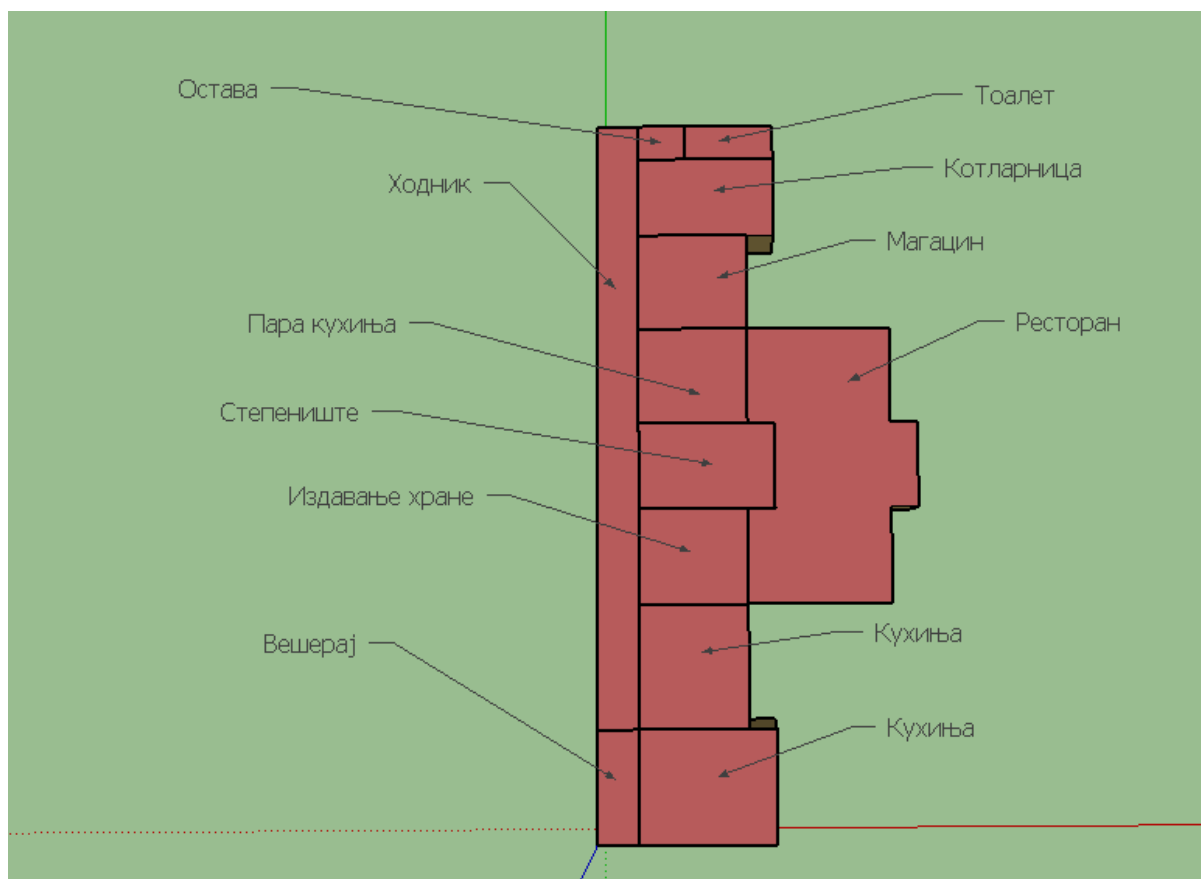
2.1. Изглед објекта

Приказани студентски дом (слика 2), који се анализира у овом раду се састоји од сутерена и два спрата. У сутеренском делу налазе се следеће просторије: ресторан, кухиња, паракухиња, просторија за издавање хране, вешерај, тоалет, котларница, остава и магацин. На првом и другом спрату смештени студенти у трокреветним и четворокреветним собама, собе за васпитаче, купатила и тоалети. Смештајни капацитет овог објекта је 77 лежаја од којих се 37 налази на првом спрату, а 40 на другом спрату. Студентски дом укључује 23 собе за боравак људи од којих су 11 трокреветних соба, 10 четворокреветних соба и 2 двокреветне собе намењене васпитачима. Распоред соба је идентичан по спратовима, стим што се на другом спрату налази једна више трокреветна соба.



Слика 2. Приказ анализираног студентског дома

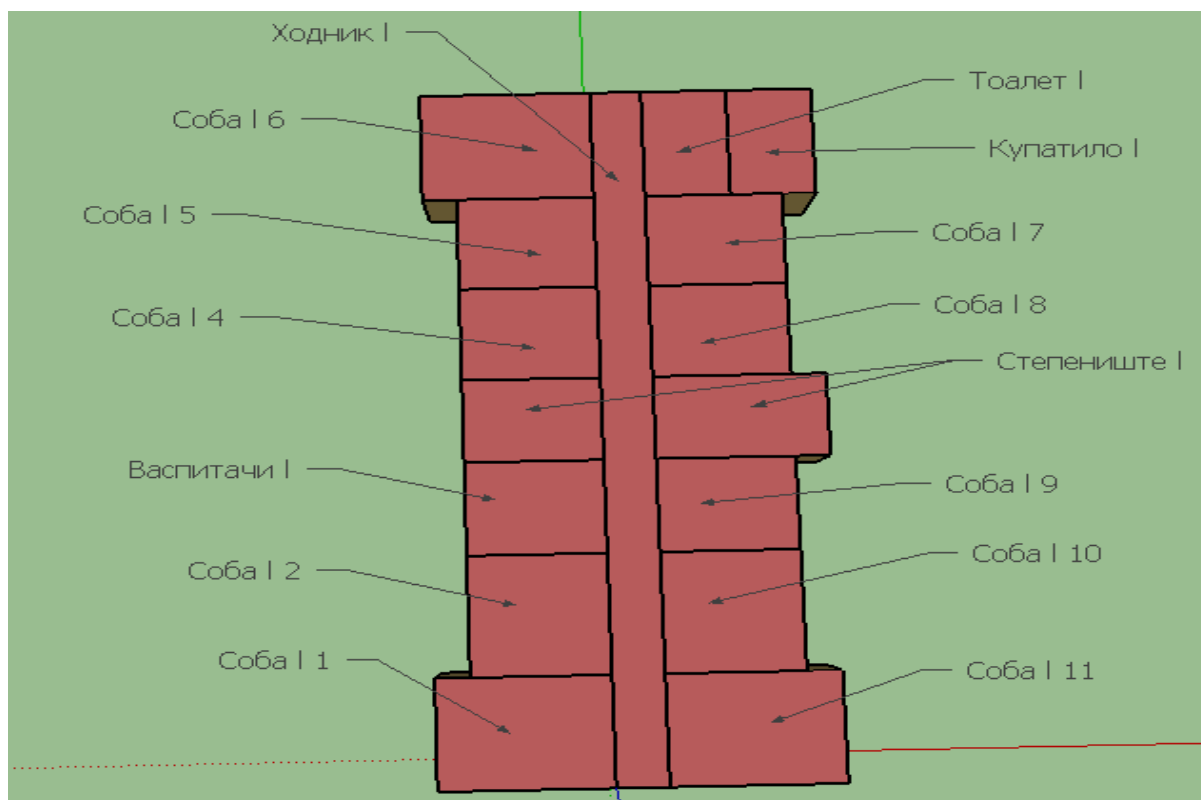
Детаљан распоред и називи просторија по нивоима студентског дома је приказан на наредним сликама (слика 3 , 4 и 5). Површина пода свих просторија дата је у табелама (1, 2и 3).



Слика 3. Распоред просторија на сутерену

Табела 1. Приказ површина пода просторија сутерена

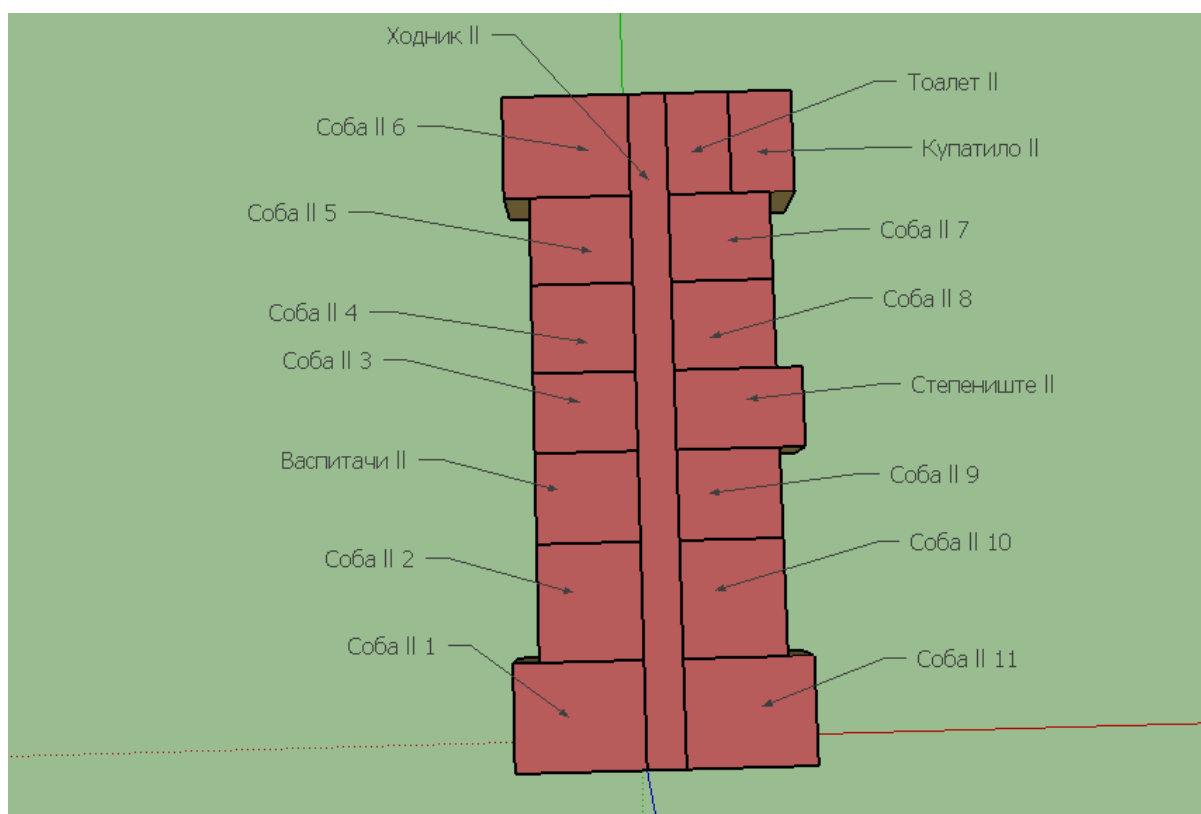
ОСНОВА СУТЕРЕНА		
Број	Намена просторије	P(m ²)
1.	Вешерај	3,96
2.	Кухиња	24,72
3.	Издавање хране	8,96
4.	Пара кухиња	8,96
5.	Магацин	8,96
6.	Котларница	9,2
7.	Тоалет	2,6
8.	Остава	1,4
9.	Ресторан	34,02
10.	Ходник	31,36



Слика 4. *Распоред просторија на првом спрату*

Табела 2. *Приказ површина пода просторија првог спрата*

ОСНОВА ПРВОГ СПРАТА			
Број	Намена просторије	P(m ²)	Структура
1.	Соба I 1	13,2	Трокреветна
2.	Соба I 2	11,52	Трокреветна
3.	Васпитачи I	8,96	Двокреветна
4.	Соба I 4	8,96	Трокреветна
5.	Соба I 5	8,96	Трокреветна
6.	Соба I 6	13,2	Четворокреветна
7.	Соба I 7	8,96	Четворокреветна
8.	Соба I 8	8,96	Трокреветна
9.	Соба I 9	8,96	Четворокреветна
10.	Соба I 10	11,52	Четворокреветна
11.	Соба I 11	13,2	Четворокреветна
12.	Купатило I	6,6	/
13.	Тоалет I	6,6	/
14.	Степениште I	18	/
15.	Ходник I	22,6	/



Слика 5. *Распоред просторија на другом спрату*

Табела 3. *Приказ површинапода просторија другог спрата*

ОСНОВА ДРУГОГ СПРАТА			
Број	Намена просторије	Р (m ²)	Структура
1.	Соба II 1	13,2	Трокреветна
2.	Соба II 2	11,52	Трокреветна
3.	Вазпитачи II	8,96	Двокреветна
4.	Соба II 3	8,96	Трокреветна
5.	Соба II 4	8,96	Трокреветна
6.	Соба II 5	8,96	Четворокреветна
7.	Соба II 6	13,2	Четворокреветна
8.	Соба II 7	8,96	Трокреветна
9.	Соба II 8	8,96	Трокреветна
10.	Соба II 9	8,96	Четворокреветна
11.	Соба II 10	11,52	Четворокреветна
12.	Соба II 11	13,2	Четворокреветна
13.	Степениште II	18	/
14.	Тоалет II	6,6	/
15.	Купатило II	6,6	/
16.	Ходник II	22,6	/

2.2. Грађевинске конструкције објекта

Материјал од којег је изграђен студентски дом, као и његове карактеристике (густина, дебљина, специфична топлота и коефицијент провођења топлоте) приказани су табеларно у табели 4, док ће његов грађевински садржај конструкција по слојевима и коефицијент пролаза топлоте бити приказан у табели 5.

Табела 4. Грађевински материјали и конструкција студентског дома

Материјал	Густина (kg/m^3)	Дебљина (m)	Специфична топлота (J/kgK)	Коефицијент провођења топлоте (W/mK)
Кречни малтер	1600	0,02	1050	0,81
Цементна кошуљица	2100	0,04	1050	1,4
PVC фолија	1460	0,00015	1100	0,19
Стаклена вуна	50	0,08	840	0,038
Стиродур	33	0,04	1260	0,03
Керамичке плочице	1700	0,015	920	0,87
Паркет	700	0,02	1670	0,21
Цреп	1900	0,01	880	0,99
Гитер блок	1200	0,19	900	0,52
Армирани бетон	2400	0,04	960	2,04
Шљунак	1700	0,2	840	0,81
Неармирани бетон	1800	0,15	960	0,93
Монта	1200	0,16	920	0,6
PVC	800	0,05	960	0,12
Стиропор	20	0,05/0,1	1260	0,041
Храст	800	0,05	2400	0,21
Продужни кречни малтер	1800	0,02	1050	0,87
Пуна опека	1600	0,12	920	0,64
Парна брана	900	0,002	960	0,19
Памук	20	0,1	840	0,04
Бетон за поравнање	1200	0,05	920	0,52

Табела 5. Састав грађевинских конструкција објекта

Конструкција	Слојеви конструкције	Коефицијент пролаза топлоте конструкције (W/m ² K)
Зид спољашњи	Стиропор 5 cm, гитер блок 19 cm, кречни малтер 2 cm	0,562
Зид унутрашњи	Кречни малтер 2 cm, гитер блок 19 cm, кречни малтер 2 cm	1,53
Под на земљи – плочице	Керамичке плочице 1,5 cm, цементна кошуљица 4 cm, стиродур 4 cm, PVC фолија 0,015 cm, неармирани бетон 15 cm, шљунак 2 cm	0,659
Под на земљи – паркет	Паркет 2 cm, цементна кошуљица 4 cm, стиродур 4 cm, PVC фолија 0,015 cm, неармирани бетон 15 cm, шљунак 2 cm	0,453
Раван кров	Шљунак 2 cm, PVC фолија 0,015 cm, парна брана 0,2 cm, памук 10 cm, парна брана 0,2 cm, бетон за поравнање 5 cm, цементна кошуљица 4 cm, монта 16 cm, кречни малтер 2 cm	0,314
Међуспратна конструкција (паркет)	Кречни малтер 2 cm, монта 16 cm, армирани бетон 4 cm, PVC фолија 0,015 cm, стиродур 4 cm, цементна кошуљица 4 cm, паркет 2 cm	0,613
Врата (спољна)	Дрво (храст) 5 cm	3,5
Врата (унутрашња)	Дрво (храст) 4 cm	2,3
Прозори	Двоструко ниско емисионо стакло 2,8 cm	1,5

2.3.Локација и услуге дома

За локацију студентског дома узет је град Крагујевац. Разлог ове претпоставке лежи у потребама града за већим смештајем студената који се школују у оквиру Крагујевачког универзитета. Данас Универзитет у свом саставу има 12 акредитованих факултета, који се налазе у 6 градова централне Србије: Крагујевцу, Чачку, Јагодини, Краљеву, Ужицу и Врњачкој Бањи. Већина ових факултета налази се у Крагујевцу. Територија на којој се простира обухвата 5000 km², а насељава је око 2,5 милиона становника чиме представља основни симбол развоја Централне Србије. У складу са тим Универзитет у Крагујевцу у циљу подизања нивоа квалитета наставе као и ефикасности види у подизању броја студијских програма. Како би се подигао квалитет и ефикасност студирања подизање оваквих објекта допринеће у великој мери. Студентски дом осим смештаја студената нуди и разне друге погодности међу којима су и услуге кухиње, ресторана и вешераја.

Кухиња врши припремање obroka за 123 особе од којих је 77 особа из самог објекта, док осталих 46 долазе само као корисници ресторана. Ресторан је отворен три пута дневно и то у периодима (табела 6):

Табела 6. *Време трајања obroka у ресторану студентског дома*

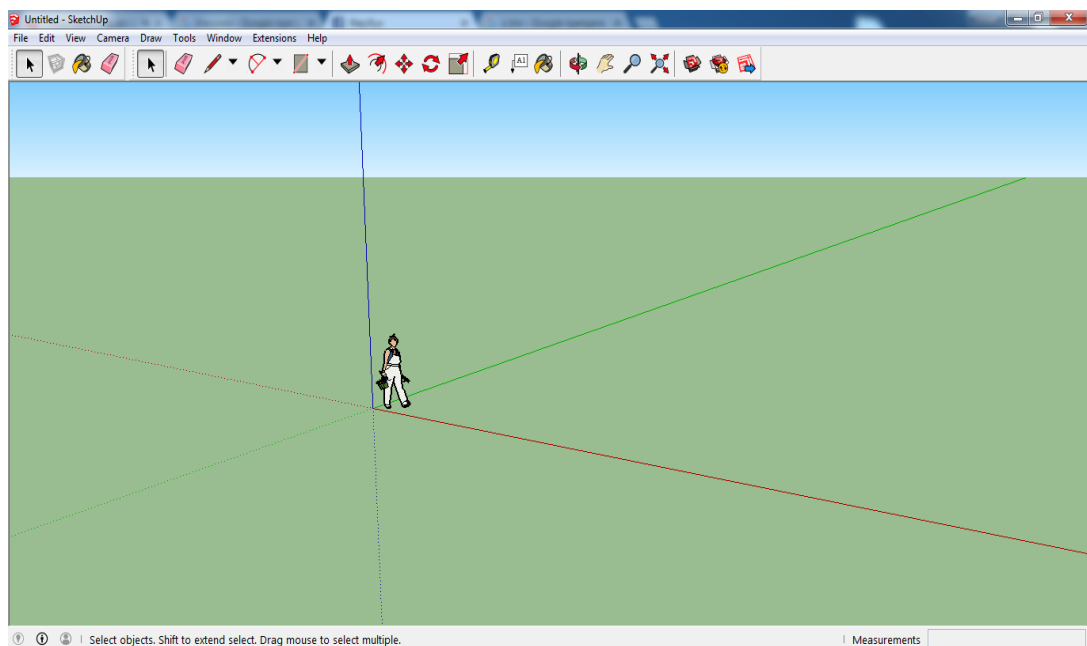
ОБРОК	Од	До
Доручак	7:00 h	9:00 h
Ручак	13:00 h	15:30 h
Вечера	18:00 h	20:00 h

Услуге прања одеће су пружене свим студентима који користе смештај дома. Узимајући у обзир потребу за већим комфором у оквиру купатила налазе се четири туш кабине и четири умиваоника. Такође два умиваоника су постављена и у ресторанима како би се избегло чекање приликом прања руку.

3. Моделирање објекта

3.1. SketchUp

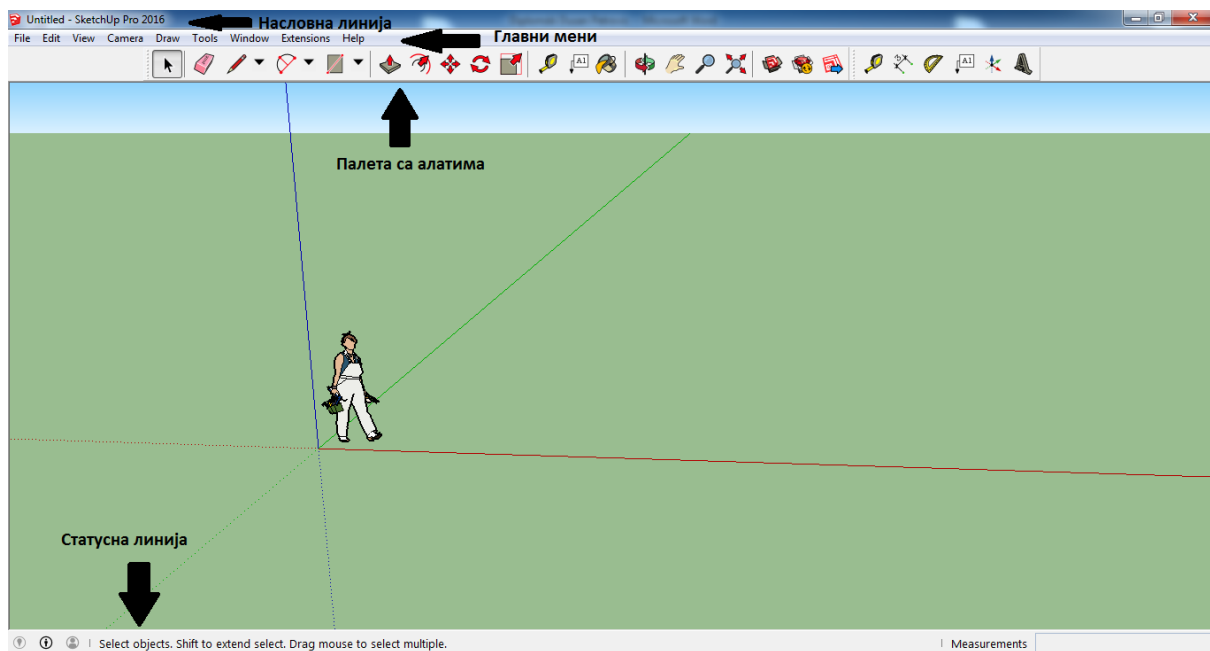
Моделирање студентског дома извршено је у програму SketchUp (слика 6) намењеном за моделирање објеката у дводимензионалном (2D) и тродимензионалном (3D) координатном систему. Правац севера означава зелена оса, док је правац истока означен осом црвене боје. По могућностима које пружа представља јединствен програм, осмишљен тако да је једноставан и лак за употребу.



Слика 6. Изглед окружења Sketch Up-а

Функција SketchUp-а је вишеструка и као такав може се користити у машинском инжењерству, дизајнирању ентеријера, архитектури... Одликује га да у свега пар повучених линија може се добити жељени тродимензионални модел за врло кратко време.

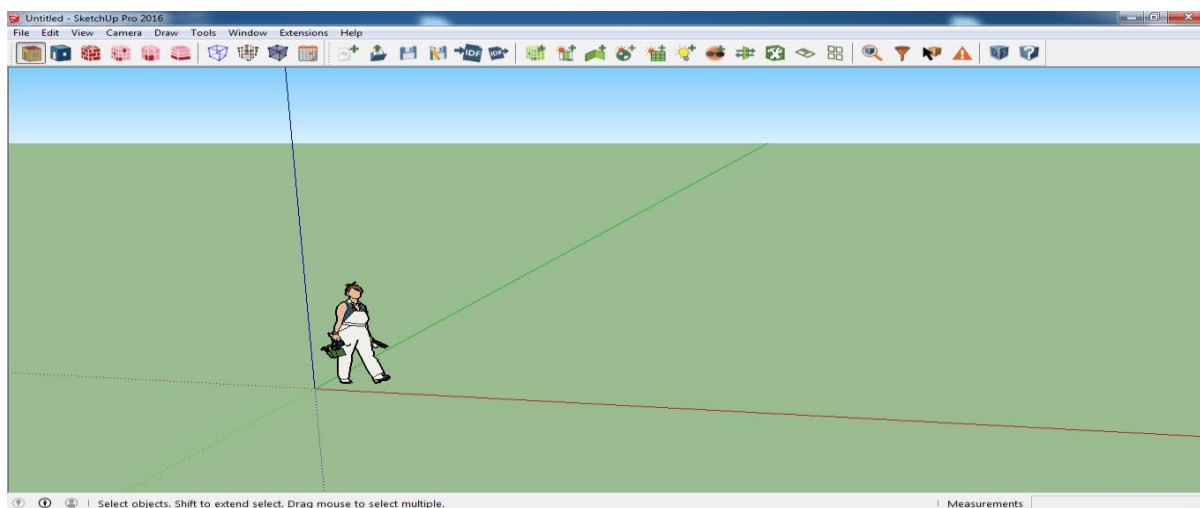
Насловна линија садржи уобичајене Microsoft Windows контроле: тренутно име фајла, minimize, maximize и close опције. Главни мени садржи следеће опције (слика 7): File, Edit, View, Camera, Draw, Tools, Window, Earth и Help. Палета са алатима се налази испод главног менија. Видљивост алата на њој се подешава избором опције Toolbars из картице View у главном менију. Статусна линија налази се на дну прозора. На њој се са леве стране приказује која је алатка активирана, док са десне стране даје информације о диментијама приликом цртања.



Слика 7. Изглед прозора SketchUp-а

3.2. OpenStudio

Како би се правилно успоставила веза између софтверских програма SketchUp-а и EnergyPlus-а користи се компјутерска платформа под називом OpenStudio (слика 8). EnergyPlus је веома користан софтвер за симулацију енергетско-еколошког понашања објеката и термотехничких уређаја и система.



Слика 8.Изглед прозора Sketch Up-a са OpenStudio додацим

4. Прорачун потрошње топле санитарне воде

Прорачун потрошње топле санитарне воде у студентском дому добијен је на основу прикупљених података потрошње по јединицама објекта у којима се она користи. У овом случају потреба за њом се јавља у купатилима, ресторану, кухињи и вешерају. Кроз следећи део текста биће приказана појединачна потрошња за сваку од наведених јединица (потрошача).

4.1.Потрошња топле воде укупатилима

Као што је раније наведено у тексту купатила се налазе на првом и другом спрату. Оба купатила су опремљена са четири туша и четири умиваоника. У табели испод (табела 7) је приказана предпостављена потрошња воде као и време коришћења једног умиваоника односно туша.

Табела 7.Предпостављена потрошња топле воде по особи у купатилима

Потрошно место	Једно коришћење (l)	Трајање (min)	Температура(°C)
Умиваоник	10	2	40
Туширање	50	6	40

Приликом мерења потрошње у купатилима предпостављено је да се половина студената тушира у јутрањим сатима, док се друга половина тушира у вечерњим. Такође треба рећи да сви студенти користе умиваонике два пута у јутарњим и вечерњим сатима. Приказани подаци у табели 7 представљају време

употребе умиваоника за прање зуба, умивање и прање руку и туширање. Детаљним рачунањем добијено је време потрошње воде које је потребно да сви студенти користе умиваоник односно половина студената користи тушеве. Како би се приказао значај већег броја умиваоника и тушева табеларно ће се приказати време потребно када би се користио само по један умиваоник и туш, а затим и потребно време коришћења при коришћењу (табела 8, 9, 10 и 11) четири умиваоника и туша.

Табела 8. *Период коришћења једног умиваоника и туша на првом спрату*

Умиваоник (min)	74
Туширање (min)	111

Табела 9. *Период коришћења четири умиваоника и туша на првом спрату*

Умиваоник (min)	18,5 (20)
Туширање (min)	27,75 (30)

Табела 10. *Период коришћења једног умиваоника и туша на другом спрату*

Умиваоник (min)	80
Туширање (min)	120

Табела 11. *Период коришћења четири умиваоника и туша на другом спрату*

Умиваоник (min)	20
Туширање (min)	30

На основу приказаних вредности може се закључити да се време коришћења умиваоника и тушева у великој мери смањује, а самим тим и студентима омогућава брже коришћење истих у јутарњим часовима пре поласка на факултете. Међутим скраћивање времена доводи и до наглог пораста потрошње воде у кратком временском интервалу. Детаљан приказ профила потрошње топле санитарне воде током једног радног дана за купатила дат је на следећој слици (слика 9).



Слика 9. Профил потрошње топле санитарне воде током једног радног дана за купатила

На основу добијених података закључено је да се потрошња топле санитарне воде јавља у преподневним и послеподневним часовима, док у остатку дана нема потрошње. Као периоди највеће потрошње означени су временски интервали од 6:00 h до 6:20 h и од 22:00 h до 22:20h. За временски период у јутарњим часовима претпостављено је да коришћење умиваоника искористи свих 77 особа смештених у дому. Након завршетка употребе умиваоника прелази се на коришћење тушева у периоду од 6:20 h до 6:50 h, где уочавамо нагли пад потрошње по минутима. Последица овога је коришћење тушева од стране једне половине особа смештених у дому. Када се туширње заврши следећа употреба топле воде у купатилима јавља се тек у вечерњим сатима када почиње коришћење умиваоника. Умиваоници поново стварају највише вредности потрошње у периоду од 22:00 h до 22:20 h. Када се заврши њихово коришћење следи употреба тушева у интервалу од 22:20 h до 22:50 h које као и у јутарњем периоду користи једна половина особа смештених у дому.

4.2. Потрошња топле воде у ресторану

Једино место на којем се јавља потрошња топле санитарне воде у ресторану је умиваоник, који студенти користе за потребе прања руку. Треба напоменути да на потрошњу ресторана осим студената који су корисници дома (користе собе за боравак) користе и особе које нису корисници дома али су корисници услуга ресторана. У табели 12 је приказана просечна потрошња топле санитарне воде као и време за које једна особа опере руке.

Табела 12. Претпостављена потрошња топле воде по особи за ресторан

Потрошно место	Једно коришћење (l)	Трајање(min)	Температура(°C)
Умиваоник	5	1,5	40

Као и у случају купатила ради спречавања гужви приликом прања руку постављена су два умиваоника. Учинак ових умиваоника се показао као идеално решење давајући довољно времена за неометано прање руку. Чак шта више из приказаних резултата добијених прорачуном у табели 13 један умиваоник не би могао да постигне прање руку свих студента. Постављањем два умиваоника ситуација се драстично мења што се може и видети у табели 14.

Табела 13. Период коришћења једног умиваоника

Умиваоник (min)	184,5
-----------------	-------

Табела 14. Период коришћења два умиваоника

Умиваоник (min)	92,25 (100)
-----------------	-------------



Слика 10. Профил потрошње топлесанитарне воде током једног радног дана за ресторан

Уколико упоредимо вредности једног коришћења умиваоника са вредношћу коришћења умиваоника у купатилу, може се закључити да је потрошња дупло мања. Може се уочити да је употреба умиваоника (слика 10) у свим временским периодима јављања подједнаког трајања. Такође потрошња топле воде по минутима је константна током трајања коришћења топле санитарне воде.

4.3 Потрошња топле воде у кухињи

Профил потрошње топле воде у кухињи је сложенији од предходно описаних профила. У њој осим коришћења воде за припремање готових јела иста се користи за припрему топлих напитака и прање посуђа. У кухињи се припремају три obroka (доручак, ручак и вечера). У зависности од тога који је оброк у приреди разликоваће се и потрошња воде (табела 15) за припрему тих obroka. За доручак врши се припремање воде за чајеве. Ручак се састоји од готових куваних јела што чини да највећа количина воде оде на припремање овог obroka, док је вечера нешто лакшег типа. Утрошак топле воде која се користи за спремање obroka по особи износи 1 l, док за припремање чаја користи се 0,3 l по особи.

Табела 15. Укупна предпостављена потрошња топле воде за припрему obroka и чаја

Потрошно место	Једно коришћење (l)	Трајање (min)	Температура (°C)
За припремање obroka	123	10	60
За припремање чаја	37	10	60

Након завршетка сваког obroka следи прање коришћеног посуђа. Један део тог прања врши се за време трајања другог сата obroka како би се особље задужено у кухињи што боље припремило за припрему следећег obroka. Прања су подељена на прања комплекта за судове и прања лонаца из који се студенти послужују приликом доласка у ресторан (табела 16). За прање комплекта задужене су четири машине за судове, док се прање лонаца врши у судопери. У наредном делу текста је дат опис машина као и лонаца који су узети за коришћење у кухињи (слика 11 и 12).



Техничке карактеристике:

Висина (mm):305

Пречник (cm):36

Запремина(l):30

Материјал:Емајл

Боја:Плава

Одржавање: Ручно прање

Слика 11. Техничке карактеристике лонца за припремање obroka [4]



Техничке карактеристике

Енергетски разред: A+

Учинак прања: A

Учинак сушења: A

Капацитет прања: 16 комплекта

Максинало прање тањира пречника 34,5 cm

Број програма: 10

Температура прања: 45°C-75°C

Противпоплавна заштита

ЕКО 10-Потрошња воде 10 литара

Боја: Бела

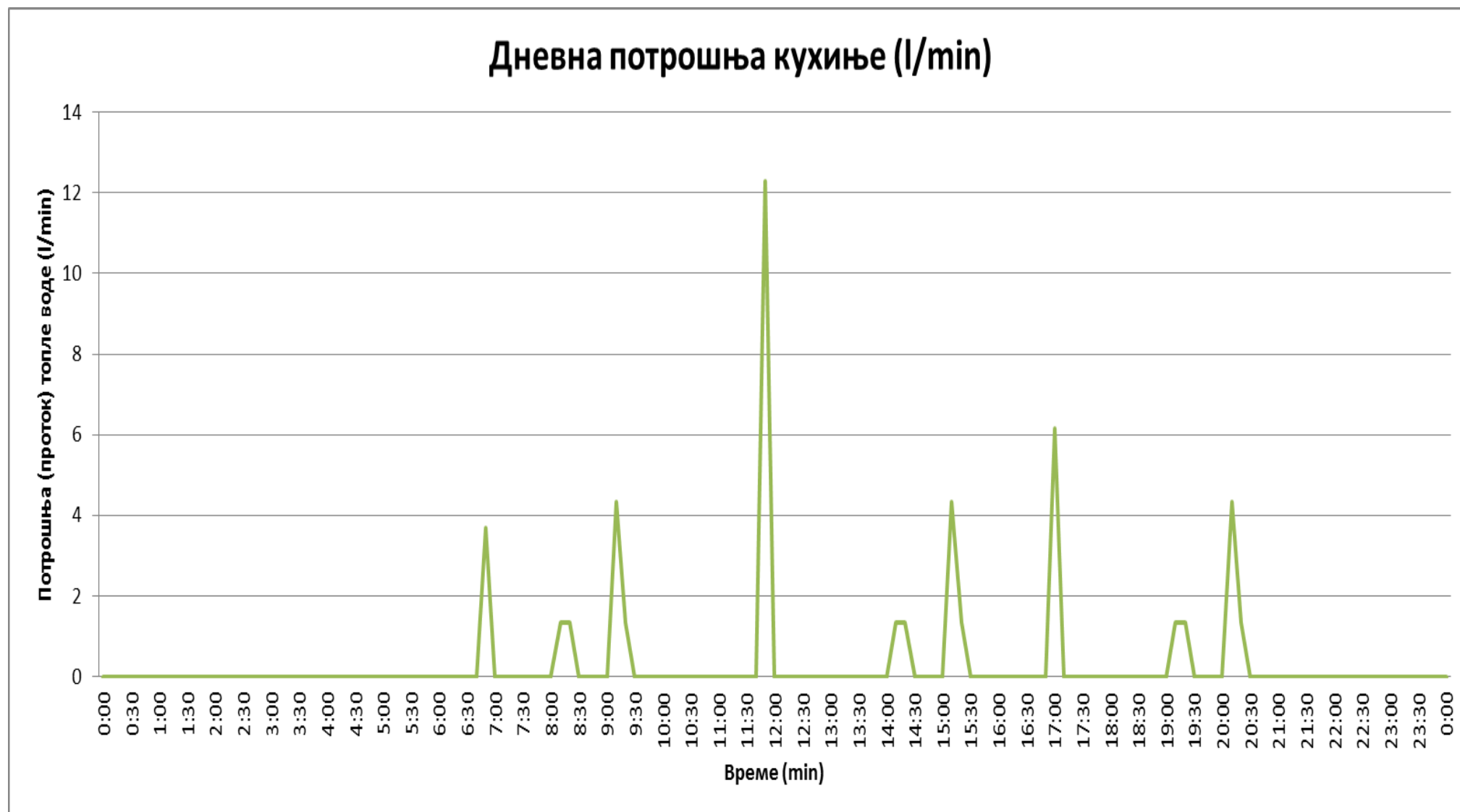
Димензије: 85x60x65cm

Слика 12. Техничке карактеристике машине за прање судова [5]

Табела 16. Укупна потрошња топле воде за прање судова

Потрошно место	Једно коришћење (l)	Трајање (min)	Температура (°C)
Машина за судове	40	30	60
Судопера за мање прање	30	10	60

За разлику од осталих просторија дневна потрошња кухиње је нешто сложенија. То показује и приказани дијаграм на слици 13. Прва потрошња топле санитарне воде настаје у јутарњим сатима као потреба припреме чаја за доручак у периоду од 6:50 h до 7:00 h. Следећу потрошњу за санитарном топлем водом прати прање судова у машини за судове након првог сата доручка, а након сат времена осим прања судова у машини за судове јавља се и прање лонаца у судопери што узрокује повећање потрошње топле воде у периоду од 9:00 h до 9:30 h. Највећа дневна потрошња јавља се за припремање ручка, што се може и уочити за период узимања топле воде за његову припрему. Након ручка долази до прања судова. Припремање вечере захтева половину утрошене топле воде за припремање ручка. Након вечере топла вода се поново користи за прање судова.



Слика 13. Профил потрошње топле санитарне воде током једног радног дана за кухињу

4.4. Потрошња топле воде у вешерају

Као и у свим тако и у овом студенском дому постоји вешерај, намењен прању одеће студената и постељине њихових кревета. Вешерај укључује четири веш машине (слика 14, табела 17) од којих су две намењене прању одеће, а друге две прању постељина. Просечан број прања које обаве машине како би задовољиле потребе студенског дома је два пута дневно. Прања се врше у вечерњим часовима у периоду од 22h до 24h.



Техничке карактеристике:

Енергетски разред: A+++

Ефикасност обртања: C

Капацитет: 6,5 кг

Бука: 56 dB

Брзина обртања у минуту: 1000 обрт/мин

Центрифуга: Подесив број обртаја центрифуге

Димензије: 60x85x44cm

Слика 14. Техничке карактеристике машине за прање веша [6]

Табела 17. Укупна потрошња топле воде веш машина [6]

Потрошно место	Једно коришћење (l)	Трајање (min)	Температура (°C)
Машина за веш	188	30	40

Са слике 15, која приказује дневну потрошњу топле санитарне воде вешераја, могу се уочити промене на крају дана за периоде у којима машине за веш раде. Како машине обављају два циклуса прања, тако је и период узимања топле санитарне воде два пута приказан на дијаграму у временима од 22:00 h до 22:30 h и од 23:00 h до 23:30 h.

4.5. Укупна потрошња топле воде објеката

После прикупљања података и израчунавања потрошње топле санитарне воде у току дана по местима објекта где се она користи, приступило се израчунавању укупне потрошње на нивоу целог објекта (слика 16).



Слика 15. Профил потрошње топле санитарне воде током једног радног дана за вешерај



Слика 16. Профил потрошње топле воде током једног радног дана за студентски дом

На основу добијених резултата закључено је да се период највеће потрошње јавља у вечерњим сатима у периоду од 22:00 h до 23:00 h. Вредност потреба за количином топле воде у овом периоду износи 2,883 (m³/h) што је и приказано у табели 18. Време највеће потрошње у том часу јавља се у периодима од 22:00 h до 22:05 h и од 22:15 h до 22:20 h. Највећа вредност протока узета за прорачун је за период од 22:00 h до 22:50 h (0,000961 m³/s)

Табела 18.Профил потрошње топле воде објекта по сатима

Максимална потрошња (m ³ /h)					
Време	Купатило	Ресторан	Кухиња	Вешерај	Укупно
24h-1h	0	0	0	0	0
1h-2h	0	0	0	0	0
2h-3h	0	0	0	0	0
3h-4h	0	0	0	0	0
4h-5h	0	0	0	0	0
5h-6h	0	0	0	0	0
6h-7h	2,695	0	0,037	0	2,732
7h-8h	0	0,350	0	0	0,350
8h-9h	0	0,265	0,040	0	0,305
9h-10h	0	0	0,070	0	0,070
10h-11h	0	0	0	0	0
11h-12h	0	0	0	0	0
12h-13h	0	0	0,123	0	0,123
13h-14h	0	0,350	0	0	0,350
14h-15h	0	0,265	0,040	0	0,305
15h-16h	0	0	0,070	0	0,070
16h-17h	0	0	0	0	0
17h-18h	0	0	0,0615	0	0,0615
18h-19h	0	0,350	0	0	0,350
19h-20h	0	0,265	0,040	0	0,305
20h-21h	0	0	0,070	0	0,070
21h-22h	0	0	0	0	0
22h-23h	2,695	0	0	0,188	2,883
23h-24h	0	0	0	0,188	0,188
УКУПНА ДНЕВНА ПОТРОШЊА (m³/h)					8,1625

5. Прорачун потребне количине топлоте за загревање топле воде и запремине акумулатора топлоте

Након извршене детаљне анализе потрошње и одређивања периода са највећим потребама за водом, приступило се израчунавању потребне количине топлоте за загревање топле воде (снаге грејача) и запремине акумулатора топлоте (бојлера). Како би се то урадило, прво је било потребно израчунати потребну количину топлоте за загревање топле потрошне воде која се добија из следећег израза:

$$Q = \frac{V_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_s - t_u) \cdot g}{\eta} \quad (1)$$

Где су:

Q - количина снаге потребна за загревање топле потрошне воде (kW);

V_h - максимална потребна количина топле потрошне воде (m³/s);

ρ – густина (kg/m³);

c_p - специфична топлота (J/kgK);

t_s - температура воде на излазу из славине (°C);

t_u - дозвољена најнижа температура воде у резервоару (°C);

g - коефицијент топлотних губитака у резервоару за воду;

η - степен ефикасности грејача (измењивача) резервоара (акумулатора топлоте).

Усвојене вредности наведених величина су приказане у табели 19.

Табела 19. Приказ вредности величина из једначине (1)

Величина	Вредност
V_h (m ³ /s)	0,000961
ρ (kg/m ³)	1000
c_p (J/kgK)	4190
t_s (°C)	60
t_u (°C)	10
G	1,1
η	0,9

Потребна количина топлоте износи:

$$Q = \frac{V_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_s - t_u) \cdot g}{\eta} = 246,069 \text{ kW}$$

Након добијања потребне снаге за загревање воде даље следи израчунавање потребног капацитета грејача бојлера.

$$Q_k = \frac{Q \cdot z_b}{z_a + z_b} \quad (2)$$

Где су:

Q_k - капацитет грејача (kW);

Q – количина снаге потребна за загревање топле потрошне воде (kW);

z_a - број часова за загревање (h);

z_b - број часова погона (h).

Усвојене вредности наведених величина су приказане у табели 20.

Табела 20. Приказ вредности величина из једначине (2)

Величина	Вредност
z_a (h)	1
z_b (h)	2

Потребан капацитет грејача акумулатора топлоте износи:

$$Q_k = 164,046 \text{ kW}$$

Одређивањем капацитета грејача остаје израчунавање потребаног капацитета резервоара који се добија из следећег израза:

$$C = z_a \cdot Q_k$$

из чега следи:

$$C = 164,046 \text{ kWh}$$

Након тога остаје само још израчунавање потребне запремине резервоара уз помоћ следеће једначине:

$$V_r = \frac{C \cdot b}{c \cdot (t_o - t_u)} \quad (3)$$

Где су:

V_r - запремина резервоара;

C - специфични топлотни капацитет воде;

t_o - средња највиша температура у резервоару (°C);

t_u - Дозвољена најнижа температура у резервоару (°C);

b - фактор додатка због мртвог простора ипод грејне површине резервоара.

Усвојене вредности наведених величина су приказане у табели 21.

Табела 21. Приказ вредност величина из једначине (3)

Величина	Вредност
C	0,00116
t_o	60
t_u	10
b	1,1

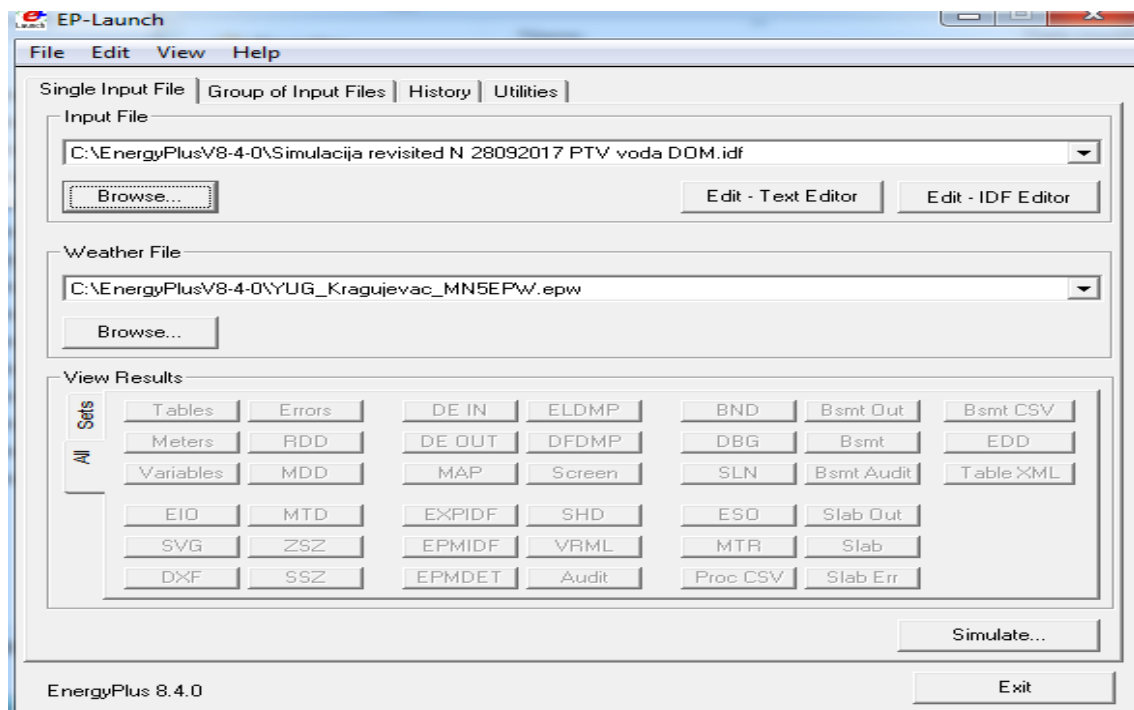
Вредност израчунате запремине резервоара износи:

$$V_r = 3111,222 \text{ m}^3$$

Након теоријског прорачуна усвојене вредноститражених величина ($Q_k = 170 \text{ kW}$, $V_r=3200 \text{ m}^3$) се уносе у EnergyPlus софтвер како би се израчунале приближно реална потрошња воде и електричне енергије загревања исте за период од годину дана.

6. Симулација

EnergyPlus (слика 17) је програм који омогућава спровођење енергетских анализа и симулација енергетског понашања објекта и термотехничких система.



Слика 17. Изглед улазног прозора EnergyPlus софтвера

EnergyPlus може дати потрошњу енергије за грејање и хлађење, вентилацију, потрошњу коришћене воде у зградама, дата осветљења електричних уређаја итд. Како би добијене вредности биле што приближније реалности у оквиру самог програма постоји могућност уношења података о локацији објекта чије се понашање симулира.

У овом случају изабрани су временски подаци за подручје града Крагујевца као што се између осталог може и видети са слике 17. Подаци који су, неопходни за покретање симулације, унети су активирањем тастера IDF Editor који се може видети на предходно наведеној слици (слика 17).

Кратак опис коришћених картица софтвера биће објашњен укратко на наредним сликама.

Картица која је прва попуњена назива се „RunPeriod“. Она омогућава дефинисање временског периода за који ће се вршити симулација. У нашем случају то је период од годину дана (слика 18).

Field	Units	Obj1
Name		Cela godina
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		Sunday
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		Yes
Start Year		

Слика 18.Период за који се врши симулација

Друга картица (слика 19) уједно и најважнија картица је „Schedule:Compact“. У оквиру ње дефинисани су распореди (профили) потрошње топле воде за свако место (јединицу) потрошње (купатила, ресторан, кухињу, вешерај) у одговарајућим временским интервалима. Максимална потрошња топле воде по местима потрошње представљена је бројем 1, док 0 означава да је проток топле воде у том периоду једнак нули. Вредности које се налазе између 0 и 1 одређују удео, фракције максималне потрошње.

Field	Units	Obj40	Obj41	Obj42	Obj43	Obj44	Obj45	Obj46
Name		Hours_of_operation	Hours_of_operation	Hours_of_operation	Hours_of_operation	Yersal_DEFAULT Temperature	Target Temperature	Gubici - boiler Temperature
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	Fraction	Fraction	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 1	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 2	varies	Unit: 06:00	Unit: 07:00	Unit: 06:50	Unit: 22:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 3	varies	0	0	0	0	60	60	26
Field 4	varies	Unit: 06:20	Unit: 08:40	Unit: 07:00	Unit: 22:30			
Field 5	varies	1	1	0.30081	1			
Field 6	varies	Unit: 06:50	Unit: 13:00	Unit: 08:00	Unit: 23:00			
Field 7	varies	0.37037	0	0	0			
Field 8	varies	Unit: 22:00	Unit: 14:40	Unit: 08:30	Unit: 23:30			
Field 9	varies	0	1	0.10840105691056	1			
Field 10	varies	Unit: 22:20	Unit: 18:00	Unit: 09:00	Unit: 24:00			
Field 11	varies	1	0	0	0			
Field 12	varies	Unit: 22:50	Unit: 19:40	Unit: 09:10				
Field 13	varies	0.37037	1	0.35230349593495				
Field 14	varies	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 09:30				
Field 15	varies	0	0	0.10840105691056				
Field 16	varies			Unit: 12:00				
Field 17	varies			Unit: 12:10				
Field 18	varies							
Field 19	varies							

Слика 19.Дефинисање профила потрошње топле воде

Следећа картица (слика 20) која је коришћена је „PlantLoop“. У оквиру ње су дефинисане вредности о средњој највишој температури у систему као и дозвољена најнижа температура у систему.

Field	Units	Obj1
User Defined Fluid Type		
Plant Equipment Operation Scheme Name		SHw/Sys1 Loop
Loop Temperature Setpoint Node Name		SHw/Sys1 Supply D
Maximum Loop Temperature	C	60
Minimum Loop Temperature	C	10
Maximum Loop Flow Rate	m3/s	autosize
Minimum Loop Flow Rate	m3/s	0
Plant Loop Volume	m3	autosize
Plant Side Inlet Node Name		SHw/Sys1 Supply Ir
Plant Side Outlet Node Name		SHw/Sys1 Supply D
Plant Side Branch List Name		SHw/Sys1 Supply B
Plant Side Connector List Name		SHw/Sys1 Supply C
Demand Side Inlet Node Name		SHw/Sys1 Demand
Demand Side Outlet Node Name		SHw/Sys1 Demand
Demand Side Branch List Name		SHw/Sys1 Demand
Demand Side Connector List Name		SHw/Sys1 Demand
Load Distribution Scheme		OPTIMAL
Availability Manager List Name		
Plant Loop Demand Calculation Scheme		
Common Pipe Simulation		
Pressure Simulation Type		

Слика 20. Приказ картице „PlantLoop“

У ред најважнијих спада и картица „WatherHeater: Mixed“ (слика 21) у оквиру које су унете вредности теоријски израчунате снаге грејача, акумулатора топлоте, максимално дозвољене температуре воде у бојлеру као и тип грејача према извору топлоте (електрични). Задато је укључење електричног грејача при паду температуре воде у резервоару за 1°C.

Field	Units	Obj1
Name		SHw/Sys1 Water H
Tank Volume	m3	3.2
Setpoint Temperature Schedule Name		SHw/Sys1 Water H
Deadband Temperature Difference	deltaC	1
Maximum Temperature Limit	C	65
Heater Control Type		CYCLE
Heater Maximum Capacity	W	170000
Heater Minimum Capacity	W	
Heater Ignition Minimum Flow Rate	m3/s	
Heater Ignition Delay	s	
Heater Fuel Type		Electricity
Heater Thermal Efficiency		1
Part Load Factor Curve Name		
Off Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W	
Off Cycle Parasitic Fuel Type		
Off Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank		
On Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W	
On Cycle Parasitic Fuel Type		
On Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank		
Ambient Temperature Indicator		Schedule
Ambient Temperature Schedule Name		Gubici - boiler

Слика 21. Приказ картице „WatherHeater: Mixed“

Наредна картица „WatherUse:Equipment“ коришћена је у сврху уношења података о максималном запреминском протоку за свако посебно место потрошње што се и може видети на приказаној слици 22.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Kupatilo	Restoran	Kuhinja	Veseraj
End-Use Subcategory		Potrosnja - Kupatilo	Potrosnja - Restoran	Potrosnja - Kuhinja	Potrosnja - Veseraj
Peak Flow Rate	m3/s	0,00144375	0,0001025	0,000205	0,0001044444
Flow Rate Fraction Schedule Name		Hours_of_operation	Hours_of_operation	Hours_of_operation	Hours_of_operation
Target Temperature Schedule Name		ZN_1_FLR_1_SEC	ZN_1_FLR_1_SEC	Target Temperature	ZN_1_FLR_1_SEC
Hot Water Supply Temperature Schedule Name		Kupatilo_DEFAULT	Restoran_DEFAULT	Kuhinja_DEFAULT	Veseraj_DEFAULT
Cold Water Supply Temperature Schedule Name					
Zone Name					
Sensible Fraction Schedule Name					
Latent Fraction Schedule Name					

Слика 22. Приказ картице „WatherUse:Equipment“

На самом крају потребно је још дефинисати излазне параметре како би се приказали резултати симулације. Картица која за ово служи назива се „Output:Variable“ (слика 23). Између осталог ради се о електричној енергији утрошеној од стране грејача акумулатора топлоте.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Key Value		*	*	*
Variable Name		Water Heater Use E	Water Heater Use E	Water Heater Use E
Reporting Frequency		timestep	timestep	timestep
Schedule Name				

Слика 23. Приказ дефинисања излазних параметара

7. Резултати

Резултати који су добијени симулацијом рада акумулатора топлоте у оквиру једног студентског дома, базирани су на основу следећих претпоставки:

- употреба топле санитарне воде у купатилима је у јутарњем периоду од 6:00 h до 6:50 h и вечерњем од 22:00 h до 22:50 h уз претпоставку да се једна половина студената тушира у јутарњим, а друга у вечерњим сатима;
- умиваонике у ресторану користе сви студенти (123) по obroку;
- утрошак топле воде за спремање obroка износи 1 l по особи, а за припремање чаја 0,3 l по особи;
- број машина за прање судова је четири и свака машина за један obрок врши два пута прање;
- прање великих лонаца се врши једним прањем у судопери;
- У вешерају се налазе 4 веш машине и свака од њих врши прање два пута дневно и то у вечерњим часовима од 22:00 h до 24:00 h;
- у вешерају се опере у просеку сваком студенту једном недељно одећа и постељина;

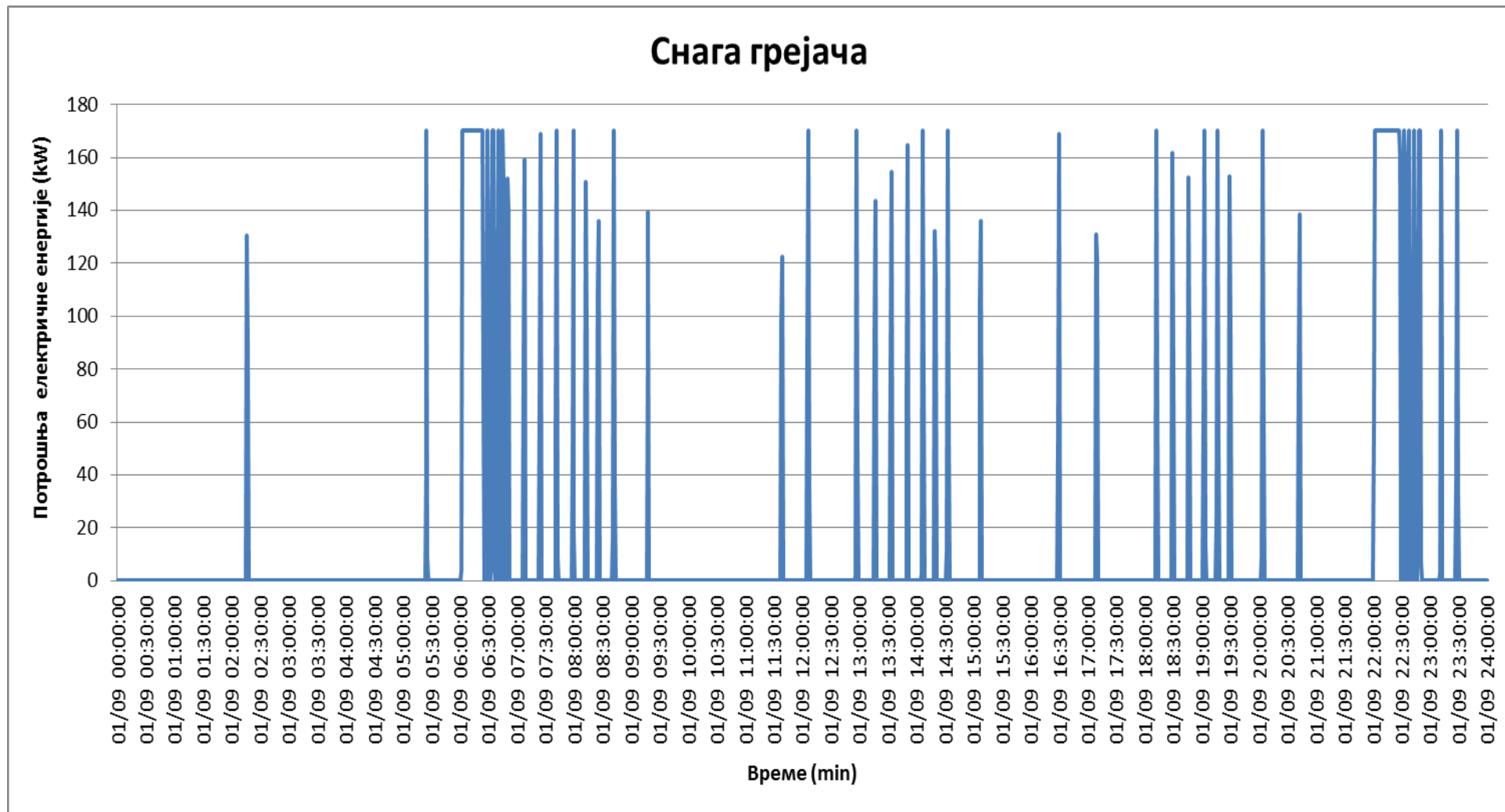
- распоред присуства студената, дефинисан за један радни дан, је исти за све остале дане у години;
- за температуру санитарне воде у бојлеру усвојена је температура од 60°C како би систем могао да одговори на неочекивана повећана оптерећења;
- грејач бојлера се укључује приликом пада температуре воде за 1°C.

Прорачуната снага грејача задовољава потребну температуру топле санитарне воде у сваком тренутку дана за пројектоване јединице.

Наслици 24 приказан је период рада грејача бојлера током једног радног дана. Период првих укључивања грејача јавља се током раних јутарњих сати као последица пада температуре воде у резервоару проузрокована топлотним губицима резервоара. Следеће укључивање настаје коришћењем топле санитарне воде у периоду од 6:00 h до 6:50 h у купатилима. У том временском интервалу грејач бојлера ради пуном снагом дужи временски период како би успео да одржи пројектоване температуре на излазу из славина. Са престанком потрошње воде у купатилима грејач престаје да ради све до 7:07 h када се поново краткотрајно укључује услед пада температуре настале као последица коришћења топле воде за припремање чајева за доручак и почетка потрошње топле воде за прање руку у ресторану. Сва укључивања до 8:00 h везана су за потрошњу топле воде у ресторану. У том тренутку долази и до потрошње воде за потребе прања једног дела судова у машинама што доводи до чешћег периодичног укључивања грејача. Потрошња топле воде умиваоника и машина за судове траје све до 8:30 h након чега долази до још једног краткотрајног укључивања грејача како би надокнадио температуру воде. По завршетку доручка почиње прање преосталог дела судова у машини као и додатног прања лонаца у судоперама што доводи до још једног краткотрајног рада грејача за време коришћења топле санитарне воде. Затим наступа дужи период некоришћења воде, а самим тим и грејача који се јавља тек у 11:38 h како би надокнадио губитке топлоте у резервоару. Од 11:50 h почиње употреба топле воде за припрему ручка. Пре почетка ручка долази до поновног укључења грејача због коришћења умиваоника у ресторану, машина за судове и судопера (до 15:07 h).

Услед пада температуре воде као последица топлотних губитака у времену од 16:29 h долази до догревања воде. Следећи период кратког укључивања јавља се због припреме вечере. За време вечере исто ће важити укључење грејача као што је био случај за време доручка и ручка. У периоду од 22:00 h до 22:50 h долази до поновне потрошње топле санитарне воде у купатилима уз коју се надовезује и потрошња воде у вешерају што повећава додатно проток топле воде из резервоара и дужи рад грејача пуном снагом. До краја дана јавља се и потрошња од 23:00 h за потребе другог прања након чега долази до још једног укључивања грејача.

Укупна дневна и годишња потрошња електричне енергије грејача акумулатора топлоте износи 324,94 и 118600,56 kWh, респективно.



Слика 24.Профил потрошње електричне енергије грејача (период његовог укључења) бојлера током једног радног дана

8.Закључак

Тема овог рада је везана за потрошњу топле санитарне воде и димензионисању акумулатора топлоте који би задовољио потребе једног студентског дома. За локацију је узет град Крагујевац. Просторије које су дефинисане као потрошачи топле санитарне воде су: купатила, ресторан, кухиња и вешерај.

Након извршене детаљне анализе потрошње и одређивања периода са највећим потребама за водом, приступило се израчунавању потребне снаге грејача (170 kW) и запремине акумулатора топлоте (3200 m³).

Симулација рада система за припрему топле потрошне воде је извршена у софтверу EnergyPlus.

Како су потребе за топлим водом у већем делу дана значајно мање уместо једног великог резервоара од 3200 l усвојила би се два или више мања, због оптималног рада грејача.

Укупна дневна и годишња потрошња електричне енергије грејача акумулатора топлоте износи 324,94 и 118600,56 kWh, респективно.

9. Литература

- [1] <https://zivotnasredinabynatasa.blogspot.rs/2015/10/blog-post.html> (приступљено 2.09.2017)
- [2] SketchUp Software. Преузето са: <http://www.sketchup.com> (приступљено 12.08.2017)
- [3] EnergyPlus Simulation Software. Преузето са: <https://energyplus.net> (приступљено 12.08.2017)
- [4] https://www.metalacmarket.com/sr-Latn/p/3020006/Klasicni_lonac_36_cm (приступљено 18.09.2017)
- [5] <https://www.tehnomanija.rs/masine-za-pranje-sudova/candy-sudomasina-cdpm-77735.html> (приступљено 18.09.2017)
- [6] <https://www.tehnomanija.rs/masine-za-pranje-vesa/gorenje-ves-masine-w6603s--slim.html> (приступљено 18.09.2017)