

UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI FAKULTET

Živko N. Ralić

MODEL KOMPARATIVNE ANALIZE
INVESTICIONIH ALTERNATIVA U
FUNKCIJI POVEĆANJA ENERGETSKE
EFIKASNOSTI STAMBENIH OBJEKATA

doktorska disertacija

Beograd, 2012.

BELGRADE UNIVERSITY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Živko N. Ralić

COMPARATIVE ANALYSIS MODEL OF
INVESTMENT ALTERNATIVES AS A
FUNCTION OF INCREASING ENERGY
EFFICIENCY IN RESIDENTIAL BUILDINGS

PhD thesis

Belgrade, 2012.

Komisija za pregled i odbranu:

Mentor: Prof. dr Dragan LJ. Milanović
Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet u Beogradu

Članovi komisije: Prof. dr Dragan D. Milanović
Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Branislav Živković
Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet u Beogradu

Doc. dr Mirjana Misita
Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Miroslav Radojičić
Univerzitet u Kragujevcu
Tehnički fakultet Čačak

Datum odbrane:

Predgovor

Ovaj rad je nastao posle višegodišnjeg bavljenja autora problemima vezanim za racionalnu potrošnju energije. Od prvih projekata pa do današnjih dana štednja energije je za autora ovog rada bila imperativ. Dolaskom na Mašinski fakultet, na katedru za industrijsko inženjerstvo, autor stiže nova znanja tako da posle više godina istraživanje dobija svoj puni zamah. Zahvaljujući podršci i pravilnim smernicama profesora sa katedre za industrijsko inženjerstvo rad je dobio željenu suštinu i formu.

Rad se bavi projektovanjem modela komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata. Nadam se da ćemo, ovim radom, pomoći onima koji se nađu pred potrebom rešavanja sličnog problema i žele uspešno upravljati zbivanjima u okruženju ubrzanog tehnološkog razvoja i sve većem ograničenju resursa.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr Draganu Lj. Milanoviću koji mi je pomogao da uspešno završim rad. Zahvaljujem se prof. dr Draganu D. Milanoviću koji je, kad god je to bilo potrebno, savetima pomogao da dovedemo do kraja započeto istraživanje. Zahvaljujem se prof. dr Miroslavu Radojičiću koji me je stalno podsticao da radim i koji je mudrim savetima pomogao da rešim veliki broj problema. Zahvaljujem se prof. dr Branislavu Živkoviću koji mi je pomogao da poboljšam kvalitet ovog rada. Zahvaljujem se članu komisije doc. dr Mirjani Misiti na pomoći prilikom izrade ove disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem svojoj porodici, supruzi Mirjani i ćerki Vanji koje su me podržavale i koje su mi pomogle prilikom izrade ovog rada.

Beograd, april, 2012.

Mr Živko N. Ralić

Model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata

Rezime

U doktorskoj disertaciji je prikazana metodologija razvoja modela komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata. Izvršena je identifikacija relevantnih uticajnih faktora za inženjersko-ekonomsku analizu i njihov uticaj na povećanje energetske efikasnosti stambenih objekata.

Ovaj rad prikazuje analizu karakteristika objekata koje utiču na potrošnju energije za centralno grejanje. Nastao je kao rezultat analize stambenih objekata iz realnog okruženja i želje da se poveća njihova energetska efikasnost. Objekti su izgrađeni u vreme kada se nije vodilo računa o toplotnoj zaštiti. Visok nivo potrošnje energije neprihvatljiv je sa bilo kog aspekta. Trebalo je odrediti uticajne faktore i njihov doprinos ukupnoj potrebi za energijom. Definisana je opseg njihove promene dogradnjom izolacije željene debljine i kvaliteta. Razmatrana je i kvalitativna supstitucija elemenata kao što su prozori. Predložene intervencije dovode do kvalitativnog pomaka. Cilj ovog rada je da na bazi ocenjivanja i poređenja alternativa izvrši izbor projekta čijom realizacijom će se smanjiti potrošnja energije. U tom cilju formiran je sistem kriterijuma koji omogućava sveobuhvatnu i objektivnu ocenu alternativnih projektnih rešenja da bi se primenom modela komparativne analize investicionih alternativa izvršio izbor najpovoljnijeg rešenja od uporedivanih. Formiran je sistem kriterijuma koji omogućava da se na najbolji način strukturira problem izbora najpovoljnijeg projekta. U radu su potvrđene istraživačke hipoteze.

Ključne reči: metoda rangiranja, komparativna analiza, energetska efikasnost

Naučna oblast: Mašinstvo

Uža naučna oblast: Industrijsko inženjerstvo

UDK 658.511:628.89:621.317.38(043.3)

Comparative analysis model of investment alternatives as a function of increasing energy efficiency in residential buildings

Abstrakt

In dissertation is explained development of the methodology of comparative analysis model of investment alternatives as a function of increasing energy efficiency in residential buildings. The identification of relevant factors was executed for engineering-economic analysis and its influence on energy efficiency of the residential buildings.

This paper presents the analysis of the object properties which influence the consumption of energy needed for the central heating. The paper was written as the result of the analysis of the actual residential buildings from the real environment and the tendency to increase their energy efficiency. The buildings were built in the period when no attention was paid to the thermal insulation. High level of energy consumption is not acceptable from any aspect. It was necessary to determine the influential factors and their contribution to the total need for energy. The extent of modifying those factors by adding the insulation of desired thickness and quality was defined. Qualitative substitution of some elements, such as windows, was considered. Proposed interventions contribute to the quality improvement. The aim of this paper is to select the project, on the basis of evaluation and comparison of alternatives, whose realization will reduce the energy consumption. For that purpose, the criteria system was formed which enables the structuring of the problem in a comparative analysis model as well as making of the more objective evaluation of the alternative project solutions; its function is to select the most favourable solution out of the compared ones, in the following phase, by applying the method of comparative analysis. The paper confirmed research hypotheses.

Key words: Comparative analysis, ranking method,
energy efficiency

Scientific discipline: Mechanical engineering

Scientific subdiscipline: Industrial engineering

UDK 658.511:628.89:621.317.38(043.3)

SADRŽAJ

1.0	UVOD	1
2.0	TEORIJSKA RAZMATRANJA I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	11
3.0	PREDMET I NAČIN ISTRAŽIVANJA	17
4.0	DEFINISANJE ALTERNATIVA SA ASPEKTA ENERGETSKE EFIKASNOSTI OBJEKATA	22
4.1	KARAKTERISTIKE OBJEKATA	23
4.1.1	KARAKTERISTIKE ZGRADE 1	24
4.1.2	KARAKTERISTIKE ZGRADE 2	25
4.1.3	KARAKTERISTIKE ZGRADE 3	27
4.1.4	KARAKTERISTIKE ZGRADE 4	28
4.1.5	KARAKTERISTIKE ZGRADE 5	29
4.1.6	KARAKTERISTIKE ZGRADE 6	30
4.1.7	KARAKTERISTIKE ZGRADE 7	31
4.1.8	KARAKTERISTIKE ZGRADE 8	32
4.1.9	KARAKTERISTIKE ZGRADE 9	33
4.1.10	KARAKTERISTIKE ZGRADE 10	34
5.0	FORMIRANJE SISTEMA KRITERIJUMA	35
5.1	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GREJANJE OBJEKATA	35
5.1.1	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 1	40
5.1.2	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 2	41
5.1.3	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 3	42
5.1.4	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 4	43

5.1.5	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 5	44
5.1.6	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 6	45
5.1.7	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 7	46
5.1.8	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 8	47
5.1.9	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 9	48
5.1.10	GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 10	49
5.1.11	ANALIZA PRORAČUNA GODIŠNJE POTREBNE ENERGIJE ..	50
5.2	ENERGETSKA SANACIJA OBJEKATA	52
5.3	TROŠAK NABAVKE I UGRADNJE OPREME ZA CENTRALNO GREJANJE	63
5.4	TROŠAK PRIKLJUČENJA OBJEKATA NA SISTEM "BEOGRADSKIH ELEKTRANA"	71
5.5	EKSPLOATACIONI TROŠAK	79
5.6	EKOLOŠKI KRITERIJUM	87
6.0	METODA RANGIRANJA	98
6.1	VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA	98
6.2	DODELJIVANJE TEŽINA KRITERIJUMIMA	102
6.3	DODELJIVANJE OCENA U OKVIRU KRITERIJUMIMA	106
6.4	IZRAČUNAVANJE METODE RANGIRANJA	113
6.4.1	KRITERIJUM GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GREJANJE OBJEKTA	115
6.4.2	KRITERIJUM KOEFICIJENT ENERGETSKE SANACIJE	118
6.4.3	KRITERIJUM TROŠAK OPREME ZA CENTRALNO GREJANJE	120

6.4.4 KRITERIJUM TROŠAK PRIKLJUČKA NA SISTEM "BEOGRDSKIH ELEKTRANA"	123
6.4.5 KRITERIJUM TROŠAK EKSPLOATACIJE	125
6.4.6 EKOLOŠKI KRITERIJUM	128
6.4.7 ZBIRNI PODACI	130
7.0 METOD PERIODA POVRAĆAJA	139
8.0 REZULTATI ISTRAŽIVANJA	145
9.0 ZAKLJUČAK	152
LITERATURA	155
BIOGRAFIJA	161

Nomenklatura

1 UVOD

2 TEORIJSKA RAZMATRANJA I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

3 PREDMET I NAČIN ISTRAŽIVANJA

4. DEFINISANJE ALTERNATIVA SA ASPEKTA ENERGETSKE EFIKASNOSTI
OBJEKATA

5 FORMIRANJE SISTEMA KRITERIJUMA

6 METODA RANGIRANJA

7 METOD PERIODA POVRAĆAJA

8 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

9 ZAKLJUČAK

LITERATURA

BIOGRAFIJA

1.0 UVOD

Energetska kriza sedamdesetih godina prošlog veka skrenula je pažnju na problem energije, tako da je tema postala zanimljiva najširim slojevima društva. Planovi razvoja su vodili računa o štednji energije u svakom segmentu ljudske delatnosti jer je postalo jasno da su raspoloživi resursi ograničeni i sugerisali su da se podjednako oprezno pristupa projektovanju objekata i sistema koji će se koristiti za njihovo zagrevanje.

Najnoviji izazov pred kojim se našla ljudska populacija postaje sve prisutniji u stručnim, političkim, medijskim i najširim društvenim krugovima. Emisija CO₂ nije problem ograničenih resursa nego predstavlja opasnost po ljudsko društvo sa nesagledivim posledicama. Smatra se da nijedna katastrofa u celokupnoj poznatoj prošlosti neće izazvati toliko poguban uticaj na civilizaciju i život na planeti kao što bi to mogao izazvati trend globalnog zagrevanja tako da aktuelni izazovi traže nova rešenja i upućuju na naučni pristup procesima donošenja odluka.

Višedecenijski period stabilnog rasta svetske privrede, koji je nastupio posle Drugog svetskog rata, podržao je verovanje u neograničene mogućnosti naučno-tehničkog progresa, pa su sedamdesete godine 20. veka, naftni šok i drugi poremećaji, pokazali svu dubinu ove zablude. Pojavljuju se radovi koji su posvećeni iscrpljivanju resursa i mogućim granicama rasta, skreću pažnju širokog kruga svetske, naučne i političke javnosti, tako da se koncept održivog razvoja našao u vrhu prioriteta interesovanja najšire međunarodne stručne i političke javnosti.

Postoje jaki moralni razlozi da današnja generacija ostavi potomstvu u nasleđe ništa manje šanse za razvoj, no što ona ima sada. Potencijali planete Zemlje ne smeju biti degradirani od strane aktuelne populacije jer pravo sadašnje generacije na iskorišćavanje resursa i životne sredine, ne sme ugroziti isto takvo pravo narednim generacijama. Pored ovih, u osnovi moralnih razloga, postoje i oni koji su krajnje pragmatični jer održivi razvoj u svojoj suštini afirmiše efikasnost. Nepoštovanje koncepta održivosti, vodi ka neefikasnom privrednom razvoju, u smislu sve većeg rasipanja resursa i energije, tj. tendenciji dugoročnog pogoršanja odnosa inputa/outputa u globalnim razmerama.

Povećanje energetske efikasnosti zgrada, toplotna zaštita zgrada, ušteda svih vidova energije i zaštita okoline danas su postali osnov održivog razvoja i nezaobilazan faktor

efikasnog upravljanja resursima. Početni koraci su usmereni ka traženju onih karakteristika zgrada koje imaju najveći uticaj u definisanju parametara koji pomažu ostvarenju postavljenog cilja, povećanju energetske efikasnosti zgrada [81].

U decembru 2002. godine usvojena je Direktiva EU (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD), broj 2002/91/ES [25], o energetske efikasnosti zgrada. Ona daje generalni okvir za zajedničku metodologiju proračuna energetske efikasnosti zgrada, propisuje zahteve za energetske efikasnosti novih zgrada i postojećih zgrada kojima treba energetska sanacija, energetske sertifikacije zgrada, inspekciju kotlova i sistema za klimatizaciju u zgradama itd. U direktivi EU navedene su mere koje je potrebno preduzeti za povećanje efikasnosti, ali je zemljama članicama ostavljena mogućnost da primenjuju i druge mere za postizanje istog cilja, u skladu sa sopstvenim zakonodavstvom i specifičnom situacijom u pojedinim zemljama.

U Direktivi se navode standardi za proračun energetske karakteristika zgrada, a veliki spektar pratećih standarda koji tretiraju, kako energetiku zgrade, tako i kvalitet unutrašnjeg prostora, sistematizovan je i pretočen u prateću platformu Direktive, kroz opšti evropski standard.

Jedna od karakteristika velikog dela stambenog i nestambenog fonda u Srbiji je neracionalno velika potrošnja svih tipova energije, prvenstveno za grejanje, a u poslednje vreme zbog porasta srednjih temperatura tokom letnjih meseci, i za hlađenje zgrada. Visok nivo potrošnje energije za grejanje posledica je nedovoljne toplotne zaštite zgrada. Postoje brojne aktivnosti kojima se može uštedeti energija, ali bilo koji korak preduzet u tom pravcu podrazumeva veće ili manje finansijske troškove. Sve ovo ukazuje da postoji potreba razvoja primerenih metoda i tehnika inženjersko-ekonomske analize koje mogu pružiti podršku u donošenju važnih odluka.

Troškovi instalacije sistema za centralno grejanje i promena cena energenata, u sadašnjem vremenu, značajno utiču na troškove preduzeća i na porodični budžet građana. Greške u izboru nisu samo skupe nego impliciraju i druge probleme koji su znatno širi i sveobuhvatniji. Pri izgradnji novih zgrada i rekonstrukciji postojećih uvek se pojavljuju isti zadaci i potreba da se odgovori na sledeća pitanja. Kako ih snabdeti energijom? Koja tehnološka rešenja za pripremu toplotne energije usvojiti? Kako i koliko toplotna zaštita

zgrada utiče na cenu opreme za centralno grejanje i visinu ukupne investicije? U savremenom trenutku je sve prisutnija dilema da li su trenutne cene nabavke, instalacije i eksploatacije sistema jedini kriterijumi o kojima treba voditi računa [23, 76].

Problemi vezani za sisteme centralnog grejanja suviše su složeni da bi se donosioci odluke oslanjali na "zdrav razum". Prednosti primene naučnih metoda analize i izbora varijanata delovanja u složenim situacijama, nameću se kao model ponašanja jer se na taj način može se uspešno upravljati zbivanjima u okruženju ubrzanog tehnološkog razvoja i sve većem ograničenju resursa.

Svaki projekat, pre njegove realizacije, treba obraditi na osnovu sistema kriterijuma: tehničko-tehnološke, ekonomsko-finansijske, tržišne i ekološke prirode i izvršiti ocenjivanje upoređivanih alternativa. Zato ocena svakog projekta mora biti delo eksperata različitih struka.

Prilikom izbora projekta, odnosno najpovoljnije alternative, inženjeri su suočeni ne samo sa tehničko-tehnološkim nego i sa investicionim problemima projekata. Problemi zahtevaju donošenje teških odluka koje imaju dugoročne konsekvence na poslovanje kompletnog privrednog subjekta. Jedna od najčešće korišćenih definicija projekata je „neponovljiv poslovni poduhvat koji se preduzima u budućnosti da bi se postigli ciljevi u predviđenom vremenu i sa predviđenim troškovima“ [58].

Po svojim osnovnim karakteristikama investicione odluke su strateške odluke, a to znači da su povezane sa znatnim rizikom u pogledu krajnjeg ishoda. Upravljanje projektom, tako podrazumeva i upravljanje rizikom projekta obzirom da svi neželjeni događaji utiču na pojavu finansijskog gubitka te se stoga finansiranju investicija uvek poklanja posebna pažnja [57].

Posmatrano u ekonomskom smislu, investiciona ulaganja predstavljaju racionalno usmeravanje i upotrebu raspoloživih resursa na duži rok. Posmatrano u finansijskom smislu, investiciona ulaganja predstavljaju angažovanje kapitala u investicione projekte čija je rentabilnost povezana sa rizikom takvih ulaganja, pa se postavlja pitanje kako svesti rizike na prihvatljivu meru, a ulaganja učiniti izvesnijim i racionalnijim [78].

Složenost izbora projekta, investicije, proizilazi i iz toga što on ima svoje različite aspekte, što se u taj izbor ugrađuju ne samo tehno-ekonomski nego i drugi kriterijumi, društveni, pravni i sl. Zato do tog izbora inženjeri mogu doći samo primenom složenih naučno-analitičkih postupaka, metoda i kriterijuma: tehnoloških, tržišnih, finansijskih, kadrovskih, ekoloških, društvenih i drugih varijabli, vodeći računa o mnogostranim povezanostima koje postoje između projekta i njegovog okruženja [77, 79].

Za ocenu prihvatljivosti ili neprihvatljivosti investicionih ulaganja, inženjersko-ekonomska praksa je razvila različite metode i tehnike, kako bi donošenje ovakvih odluka učinila lakšim i izvesnijim.

U kontekstu navedenog, može se reći da metode ocene i rangiranja investicionih projekata čine, u stvari, skup postupaka putem kojih se sistematski dolazi do saznanja o prihvatljivosti ili neprihvatljivosti investicionog ulaganja, u smislu donošenja investicione odluke "da-ne".

Zadatak ove doktorske disertacije je uspostavljanje modela komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata. Međusobno će se porediti postojeće zgrade sa konkurentnim alternativnim rešenjima koja uključuju odgovarajuće tehničke zahvate na energetske sanaciji u cilju povećanja energetske efikasnosti zgrade. Istraživanje je izvedeno u realnom okruženju sa konkretnim stambenim objektima.

U okviru doktorske disertacije biće definisan sistem kriterijuma tehničko-tehnološke, ekonomsko-finansijske, tržišne i ekološke prirode sa različitim relativnim značajem (težinom). Na taj način izvršiće se sveobuhvatna i objektivna ocena alternativnih rešenja, da bi se, primenom metode komparativne analize, strukturirao problem izbora najpovoljnije alternative.

Demonstracija tehnike rangiranja pokazaće se na praktičnom problemu odlučivanja, odnosno izbora najpovoljnije alternative od pet upoređivanih (A_1, A_2, \dots, A_5). Evaluacija alternativa izvršiće se u sistemu od šest kriterijuma (f_1, f_2, \dots, f_6), sa različitim relativnim značajem (težinom) i sa različitim zahtevima za maksimumom ili minimumom po ustanovljenim kriterijumima.

Potvrđena je polazna hipoteza ove doktorske disertacije da je moguće projektovati model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata.

Projektovani model komparativne analize pruža kvalitativno bolje rešenje u dokazivanju drugih hipoteza vezanih za povećanje energetske efikasnosti, nekontrolisanu potrošnju energije, karakteristike zgrada i primenjenu metodu višekriterijumskog rangiranja.

Razvoj novog metoda, inženjersko-ekonomskog modela, komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata doprinosi unapređenju industrijskog inženjerstva u domenu energetske efikasnosti zgrada.

Praktičan doprinos projektovanog modela inženjersko-ekonomske analize ogleda se u olakšanom prepoznavanju elemenata koji su ključni za inženjersku i ekonomsku analizu. Njihovim adekvatnim izborom i korišćenjem, model se može šire primeniti u cilju povećanja energetske efikasnosti objekata. Koraci preduzeti u tom pravcu, makar bili i najmanji, predstavljaju pomak napred i doprinose konceptu održivog razvoja. To, naravno, ne znači da se treba zadovoljiti minimalnim pomacima zato što ozbiljnost situacije zahteva odlučne korake u pravcu povećanja energetske efikasnosti zgrada.

Prvo poglavlje doktorske disertacije obuhvata uvodna razmatranja o predmetu, značaju, načinu i cilju istraživanja. U ovom poglavlju se ukazuje na naučnu zasnovanost predmeta istraživanja i na značaj teorijskog i praktičnog doprinosa, koji rezultati predmetne disertacije imaju.

Drugo poglavlje doktorske disertacije sadrži teorijska razmatranja i pregled dosadašnjih istraživanja. Ukazano je na činjenicu da treba biti obazriv prilikom formiranja veličine skupa uticajnih elemenata. Upravljanje projektom je, u stvari, upravljanje rizikom jer ne postoji apsolutno siguran projekat. Pomenut je akcioni plan o novoj energetskej politici EU i prikazani njegovi ciljevi za 2020. godinu. Na kraju je prezentiran pregled istraživanja objavljenih u svetskim naučnim časopisima. Citirani su radovi koji obrađuju energetske efikasnost, a posebno je posvećena pažnja radovima čiji su autori primenili višekriterijumski pristup rešavanju problema.

Treće poglavlje doktorske disertacije sadrži opis predmeta i načina istraživanja. Predmet istraživanja su karakteristike stambenog fonda Beograda. Utvrđeno je da je najveći deo stambenog fonda izgrađen u periodu kada nije bilo propisa koji regulišu toplotnu zaštitu zgrada. Stambeni fond iz 1981. čini 82% stambenog fonda iz 2008. godine.

Veliki broj zgrada, naročito u centralnoj gradskoj zoni u Beogradu, nije bio priključen na daljinski sistem grejanja. Akcijom gašenja postojećih kotlarnica, na gradskom nivou, do kraja 2010. ugašeno je preko 1.000 [37]. Eliminirane kotlarnice su koristile energente koji su neprihvatljivi sa ekološkog aspekta, ugalj, mazut i druga ulja za loženje. Ukupna površina priključenih stanova do kraja 2010. godine iznosi 1.380.090,69 m².

Analizirano je deset zgrada koji su različiti po svojoj mikro lokaciji, orijentaciji, faktoru oblika, periodu izgradnje, konstruktivnim karakteristikama i slično. Površina zgrada se kreće od 413 m² do 1.526 m². Spratnost se kreće od P+III do P+VIII. Posmatrane zgrade su građene u različitim vremenskim periodima, deo je građen između dva svetska rata, a najveći broj u periodu intenzivne socijalističke izgradnje.

Međusobno će se porediti postojeći stambeni objekti, kao i konkurentna alternativna rešenja koja uključuju odgovarajuća tehnička rešenja usmerena ka povećanju energetske efikasnosti zgrada. Predviđena je energetska sanacija zgrada koja podrazumeva građevinske i druge radove na ugradnji toplotne izolacije na spoljne zidove, pod i tavan zgrade kao i ugradnju kvalitetnijih spoljnih prozora.

Četvrto poglavlje doktorske disertacije sadrži prikaz karakteristika zgrada koje utiču na postizanje željenog cilja, povećanja energetske efikasnosti analiziranih objekata. Tako su karakteristike delova zgrada: spoljni zidovi, podovi, tavan i stolarija stavljeni u fokus interesovanja.

Ovaj rad se bavi izborom najpovoljnije alternative, sa aspekta energetske efikasnosti, svakog od deset analiziranih objekata. Međusobno će se porediti postojeći načini gradnje, alternativa A₁, kao i konkurentna alternativna rešenja koja uključuju odgovarajuće tehničke zahvate na energetske sanaciji u cilju povećanja energetske efikasnosti zgrade. Spoljni zidovi, pod i tavan objekta obložiće se toplotnom izolacijom debljine 5 cm, 10 cm, ili 20 cm.

Spoljni prozori su analizirani u tri varijante kvaliteta:

- kvalitet 1- drveni dvostruki prozor, $U = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- kvalitet 2- PVC prozor sa dva stakla, $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- kvalitet 3- PVC prozor sa nisko emisionim staklom, $U = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Razmatrane su i ocenjivane sledeće alternative:

- Alternativa A₁: neizolovan objekat, prozor kvaliteta 1, na prozor se stavljaju zaptivne trake zbog smanjenja ventilacionih gubitaka
- Alternativa A₂: neizolovan objekat, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A₃: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1
- Alternativa A₄: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 10 cm, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A₅: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 20 cm, prozor kvaliteta 3, izolovani zidovi prema negrejanim prostorijama izolacijom debljine 5 cm

U nastavku četvrtog poglavlja prikazane su posmatrane zgrade crtežom osnove karakterističnog sprata i spiskom osnovnih podataka kao što su: godina završetka gradnje, spratnost, efektivna površina i opis lokacije.

Peto poglavlje doktorske disertacije sadrži prikaz formiranja sistema kriterijuma. Svi faktori koji utiču na odluku, odnosno svi ishodi koje bi imalo eventualno rešenje, posmatraju se kao kriterijumi čije vrednosti treba da budu optimalne. Dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično ili potpuno konfliktni.

Ocenjivanje alternativa i izbor najpovoljnije izvršice se u sistemu sledećih kriterijuma:

- f_1 – godišnja potrebna energija za grejanje objekata
- f_2 – koeficijent energetske sanacije objekata

- f_3 – trošak nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje zgrada
- f_4 – trošak priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana"
- f_5 – eksploatacioni trošak
- f_6 – ekološki kriterijum

Rezultati proračuna relevantnih veličina potrebnih za kasniju analizu prikazani su tabelarno i pomoću odgovarajućih dijagrama, po alternativama za svaku zgradu.

U okviru kriterijuma, f_1 , godišnje potrebna energija za grejanje objekta $Q_{H,nd}$ (kWh/a), prikazani su i sledeći podaci: ukupni gubici toplote, energija potrebna za nadoknadu gubitaka toplote, unutrašnji dobici toplote, solarni dobici toplote, godišnje potrebna energija za grejanje i specifična godišnje potrebna energija za grejanje.

Pored, f_2 , koeficijenta energetske sanacije objekta ($kWh/(aEUR)$), prikazana je i visina troška energetske sanacije, koja je kasnije korišćena za izračunavanje perioda povraćaja sredstava uloženi u energetska sanaciju.

Vrednost, f_3 , troška nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje objekta (EUR), određena je na osnovu specifikacije potrebne opreme.

Visina, f_4 , troška priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana" (EUR), izračunata je na osnovu njegove instalirane snage i cenovnika isporučioaca tople vode.

Distributer toplotne energije omogućuje obračun, f_5 , eksploatacionog troška (din), po m^2 stana i na osnovu izmerene količine toplote. Analizirane su ove dve mogućnosti u funkciji primene mera energetske sanacije.

U okviru, f_6 , ekološkog kriterijuma ($tona CO_2$), prikazane su tri komponente emisije ugljen-dioksida: inicijalna, operativna i ukupna. Inicijalna emisija CO_2 posledica je proizvodnje materijala korišćenih u energetska sanaciji zgrada. Operativna emisija ugljen-dioksida nastaje kao posledica zagrevanja objekata korišćenjem fosilnih goriva i računata je kumulativno za eksploatacioni period od 20 godina. Vrednosti ukupne emisije CO_2 su korišćene u metodi rangiranja.

Šesto poglavlje doktorske disertacije sadrži prikaz metode rangiranja. Razmatrani kriterijumi su po svojoj prirodi veoma raznorodni, izraženi u različitim mernim jedinicama, od novčanih jedinica, do jedinica fizičkih veličina. Utvrđivanje prioriteta ili hijerarhije

kriterijuma postignuto je dodeljivanjem težina pojedinim kriterijumima, odnosno određivanjem relativnih odnosa među njima. Za to je korišćena Delfi metoda, jedna od najčešće primenjivanih ekspertnih metoda, za prognoziranja neizvesnih događaja. Radi se o metodološki organizovanom korišćenju znanja eksperata u cilju predviđanja budućih stanja odnosno fenomena.

Pre početka primene metode rangiranja odabrani su kriterijumi izbora alternative, ponderisani, odnosno težinski kvantificirani kriterijumi i pojedini uticajni elemenati. Znači, najpre je svakom pojedinačnom uticajnom elementu dodeljen određeni težinski faktor koji odražava njegov relativni značaj u odnosu na druge elemente i na celokupan skup elemenata.

Nakon određivanja težinskog faktora za kriterijume i ocenjivanja uticajnih faktora (alternativa u okviru kriterijuma), pristupa se definisanju zahteva za maksimumom ili minimumom po ustanovljenim kriterijumima. Ako se element definiše kao maksimalan, projekat je bolji, ako je njegova vrednost veća. Međutim, ako je zahtev za minimalno, onda njegova veća vrednost znači da je projekat lošiji.

Pravilan izbor kriterijuma i adekvatno vrednovanje uticajnih parametara imaju presudan uticaj na uspešnost primenjene metode. Ako se pogreši u postavci problema ni "najsavršenija" metoda ne može dati pouzdane rezultate kao podlogu za odabir alternative.

Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za posmatrane objekte prikazane su tabelarno.

Kada kriterijum ima zahtev za minimumom ustanovljenog kriterijuma, pri utvrđivanju konačnog broja poena radi se sa količnikom zbira vrednosti svih elemenata koji se rangiraju i vrednosti i-tog elementa, pa manji iznos govori da je alternativa bolja i donosi više poena. Zahtev za minimumom imaju sledeći kriterijumi:

- *godišnja potrebna energija za grejanje objekta*
- *trošak opreme za centralno grejanje*
- *trošak priključka objekta na sistem "BE"*
- *trošak eksploatacije*
- *ekološki kriterijum*

Kriterijum *koeficijent energetske sanacije* ima zahtev za maksimumom ustanovljenog kriterijuma. Alternative su ocenjene izračunatom vrednosti koeficijenta. Povoljnija je ona alternativa koja omogućuje veću uštedu energije za uloženu jediničnu novčanu jedinicu. Pri utvrđivanju konačnog broja poena, kod ovog kriterijuma, radi se sa vrednošću ocene. Veći iznos govori da je alternativa bolja i donosi više poena.

Izračunavanjem ukupnog broja poena za alternative po objektima izvršeno je i rangiranje projekata na osnovu broja poena.

Sedmo poglavlje doktorske disertacije sadrži prikaz metode perioda povraćaja. Neto sadašnja vrednost je računata kumulativno, po godinama trajanja projekta. Godina u kojoj neto sadašnja vrednost prelazi iz negativne u pozitivnu vrednost jeste godina u kojoj su uložena sredstva vraćena. Rezultati obračuna perioda povraćaja sa vremenskim faktorom prikazani su tabelarno.

Osmo poglavlje doktorske disertacije sadrži rezultate istraživanja. U tim razmatranjima je ukazano na teorijski i praktični doprinos doktorske disertacije.

Deveto poglavlje doktorske disertacije sadrži zaključna razmatranja.

2.0 TEORIJSKA RAZMATRANJA I DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Neizvesnosti i rizici su neizbežni u svakom projektu tako je projektni menadžment zapravo upravljanje rizicima, jer je jedan od osnovnih ciljeva projektnog menadžmenta savladati različite rizike kojima je izložen svaki projekat. Ne postoji apsolutno siguran projekat, pa se u svakom trenutku mora imati u vidu da ne postoji jedinstvena metoda za izbor pravog investicionog projekta. Postupak za izračunavanje pojedinih metoda izbora potpuno je egzaktan, što nije slučaj sa podacima na kojima se zasniva. Korišćenje pomenutih metoda često zavisi i od subjektivnog tumačenja o tome kakva će biti njegova tržišna i tehnološka budućnost. Metoda rangiranja projekata omogućava da se izbor odgovarajućeg projekta ili varijante nekog projekta realizuje po više uticajnih elemenata istovremeno [19].

Praktično je, na samom početku, teško odrediti veličinu skupa uticajnih elemenata. Može se ograničiti na manji broj uticajnih elemenata koji se čine najznačajnijim za selekciju ili na veliki broj uticajnih elemenata koji bi obuhvatili većinu relevantnih uticajnih faktora. Manji broj omogućava bržu i efikasniju analizu i izbor, ali postoji mogućnost izostavljanja nekih značajnih elemenata. Veći broj uticajnih elemenata omogućava obuhvatanje većine relevantnih uticajnih faktora, ali otežava analizu i može da dovede do zamagljivanja rezultata, naročito kod kvantitativne analize. Za konačnu odluku presudno je znanje i iskustvo nosioca odlučivanja [19].

Povećanje energetske efikasnosti objekata, toplotna zaštita objekata, ušteda svih vidova energije, korišćenje obnovljivih izvora energije i zaštita okoline danas su postali osnov održivog razvoja. Već dugi niz godina problemi održivog razvoja, nameću se kao globalna tema broj jedan na svim svetskim forumima vezanim za energetiku, ekologiju, ekonomiju i privredu uopšte. Ova problematika suštinski je povezana sa nesigurnošću snabdevanja energijom, sa zagađenjem životne sredine i globalnim promenama klime, zbog prevelike i neracionalne potrošnje energije dobijene iz fosilnih goriva.

Unapređenje energetske efikasnosti u zgradarstvu podrazumeva kontinuirani i širok opseg delatnosti kojima je krajnji cilj smanjenje potrošnje svih vrsta energije uz iste ili bolje uslove u objektu. Kao posledicu smanjenja potrošnje obnovljivih izvora energije (fosilnih goriva) i korišćenje obnovljivih izvora energije, imamo smanjenje emisije štetnih

gasova (CO₂ i dr.) što doprinosi zaštiti prirodne okoline, smanjenju globalnog zagrevanja i održivom razvoju zemlje.

Energetska kriza sedamdesetih godina prošlog veka ukazala je na ograničene resurse i na potrebu da se izboru energenta za zagrevanje objekata, pristupi sa mnogo većom pažnjom. Zgrade su najveći pojedinačni potrošači energije. Učešće zgradarstva u ukupnoj potrošnji finalne energije u Srbiji iznosi 48%, a od toga 65% u stambenom sektoru. Istraživanja [26] su pokazala da se 57% energije u zgradama troši na grejanje prostora, 25% na pripremu tople vode, 11% na rasvetu i električne uređaje i 7% na kuvanje. Ako se posmatra emisija štetnih polutanata u sektoru zgradarstva u Srbiji, kao i u EU, može se primetiti zabrinjavajuće rastući trend emisija CO₂ izazvan povećanom potrošnjom fosilnih goriva. Upravo zato, energetska efikasnost u zgradarstvu jeste oblast koja ima najveći potencijal za smanjenje potrošnje energije.

Direktiva EU (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD), broj 2002/91/ES, daje generalni okvir za zajedničku metodologiju proračuna energetske efikasnosti zgrada. Propisuje zahteve za energetske efikasnosti novih zgrada i postojećih zgrada kojima treba energetska sanacija, energetske sertifikacije zgrada, inspekciju kotlova, sistema za klimatizaciju u zgradama itd. U direktivi EU navedene su mere koje je potrebno preduzeti za povećanje efikasnosti, ali je zemljama članicama ostavljena mogućnost da primenjuju i druge mere za postizanje istog cilja, u skladu sa sopstvenim zakonodavstvom i specifičnom situacijom u pojedinim zemljama.

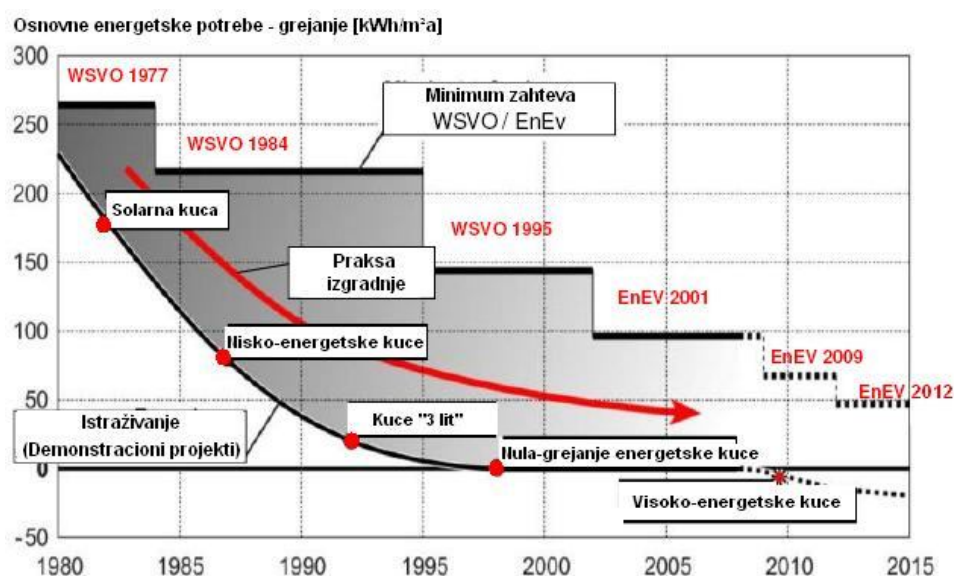
Pored uštede energije, mere predviđene za povećanje energetske efikasnosti zgrada vode računa i o poboljšanju kvaliteta unutrašnjeg prostora, boljoj zaštiti životne okoline i smanjenju emisije štetnih gasova koji dovode do efekta staklene bašte.

Napori EU usmereni ka povećanju energetske efikasnosti i rešavanju akutnih problema u energetici doveli su, u martu 2007. godine, do strategije nove energetske politike [27] - The EU Energy Policies 2020. Akcioni plan o novoj energetskej politici EU definiše ciljeve za 2020. godinu:

- povećanje energetske efikasnosti za 20%

- povećanje učešća obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije na 20%
- smanjenje emisije CO₂ za 20% u odnosu na referentni nivo iz 1990. godine

Ilustracija povećanja energetske potrebe u EU [15], kao i razvoja energetske efikasnosti u zgradarstvu prikazana je na slici 1.



Slika 1. Povećanja energetske potrebe u EU [15]

Savremen pristup organizacionim sistemima i procesima donošenja odluka podrazumeva naučno upravljanje složenim situacijama i razvojem u bilo kojoj oblasti ljudske delatnosti. Na taj način se ostvaruje direktna povezanost sistemskog pristupa sa naučnim metodama i tehnikama analize složenih situacija [65].

Sistemi za podršku odlučivanju koriste se kada je donosiocu odluke potrebna računarska podrška u procesu rešavanja problema [17].

Novi izazovi traže nova rešenja i upućuju na uspostavljanje mehanizama koji će obezbediti trajno smanjenje potrošnje energije u novim i postojećim zgradama. Potreban je

novi način projektovanja, korišćenje novih materijala i pravilno rekonstruisanje postojećih u cilju povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu.

Odnos naučne javnosti prema konceptu održivog razvoja vidljiv je na osnovu velikog broja publikovanih radova u svetskim naučnim časopisima. Obraden je veliki broj tema sa različitih aspekata tako da se može zaključiti da mu pripada centralno mesto u razmatranju dugoročne perspektive opstanka i napretka čovečanstva. Interes prema ovoj temi, pored naučne, pokazuje politička i najšira društvena javnost. Održivi razvoj se nametnuo kao preduslov efikasne organizacije privrednih i društvenih aktivnosti u većini zemalja.

Za potrebe ovog rada težište istraživanja je stavljeno na svetske naučne časopise. Sledi prikaz dela publikovanih radova koji su se fokusirali na energetske efikasnost, metode višekriterijumske optimizacije, izbor projekata, inženjersko-ekonomske analize i sl. Značaj povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu pokazuju istraživanja publikovana u sledećim radovima.

Rad [68] prikazuje sistemski pristup povećanju energetske performansi postojećeg objekta kompletnim ispitivanjem "socio tehničkog" sistema.

U centru interesovanja rada [3] je istraživanje održivih energetske karakteristika u cilju modeliranja održivih karakteristika omotača stambenih objekata. Uobičajeno je da modeli za ocenu karakteristika zgrade ne uzimaju u razmatranje sve pretpostavke tako da imaju ograničenu primenu. Da bi se indentifikovali relevantni uticajni faktori korišćena je anketna tehnika, a podaci su analizirani korišćenjem korelacija.

Analiza i razvoj energetske kodova objekta u vezi sa za grejanjem, ventilacijom i klimatizacijom (HVAC) u skladu sa njihovim obimom i primenom prikazani su u radu [43]. U centru interesovanja je sinteza zahteva za energetske efikasnošću (HVAC) sistema poslovnih objekata u uslovima različite regulacije.

U radu [1] je prikazana studija, čiji cilj je razvoj modela za izbor najpovoljnijeg načina grejanja, ventilacije i klimatizacije (HVAC) u novim i postojećim objektima. Metod koristi dva analitička alata: višekriterijumski izbor i simulaciju (HVAC) sistema. Model je pored tehničkih uključio ekonomske, energetske i kriterijume okruženja kao i osećaj zadovoljstva korisnika.

Analitička mreža procesa (ANP), i višekriterijumski (MCDM) način izbora korišćeni su za izbor najpovoljnijeg energetskeg resursa u turskoj prerađivačkoj industriji [63].

Višekriterijumski model procene karakteristika životnog veka inteligentne zgrade prikazan je u radu [74]. Model je razvijen korišćenjem analitičke mreže procesa (ANP) i seta karakteristika životnog veka zgrade odabranih IBs, odabranih novim kvantitativnim pristupom nazvanim indeksi potrošnje energetskeg vremena (ETI).

Rad [13] istražuje opravdanost primene multiobjektivnih optimizacionih tehnika na problem poboljšanja energetske efikasnosti objekata, tako da se može razmatrati maksimalan broj alternativnih rešenja.

Uticaj debljine toplotne izolacije spoljašnjeg omotača na termičko ponašanje objekta i instaliranu snagu toplnog izvora prikazan je u radu [45].

U radu [39] su ocenjeni sistemi centralnog grejanja, koji se koriste u Jordanu, na bazi višekriterijumske analize. Analiza sistema je pokazala da su sistemi centralnog grejanja bazirani na obnovljivim izvorima energije (vetar, solarna energija i sl.) povoljniji nego sistemi koji koriste sagorevanje tečnog goriva, a najnepovoljniji su oni koji koriste električno grejanje.

Cilj rada [6] je bio da uradi multi atributnu analizu za procenu varijanti objekta, koja koristi (LCA) metod. Rezultati eko-energetske procene varijanti objekta su temeljna podrška donošenju odluka u programiranju i projektovanju objekata, uzimajući u obzir brojne aspekte.

Postavljena su tri glavna cilja u radu [30]. Prvi cilj je bio indentifikacija ključnih pitanja vezanih za održivost inteligentnih zgrada: okruženje, socijalna, ekonomska i tehnološka. Razvoj konceptualnog modela za izbor odgovarajućih KPI indikatora. Drugi cilj je testiranje percepcije zainteresovanih strana i vrednosti KPI indikatora. Treći cilj je razvoj novog modela za merenje održivosti inteligentnih zgrada.

Višekriterijumski pristup vrednovanju nivoa inteligentne opreme prikazan je u radu [75]. Kvantifikovan je nivo inteligentne opreme kao i njena pouzdanost. Kriterijumi (okruženje, socijalni, ekonomski, tehnološki i politički) i njihovi podkriterijumi korišćeni su za formiranje analitičke mreže procesa (ANP).

Provera usklađenosti karakteristika zgrade sa propisima, ocena efikasnosti sanacije plašta zgrade, u mnogim slučajevima se moraju porediti ocene efikasnosti zgrade. Glavni cilj u radu [12] je višekriterijumska ocena poslovne zgrade i scenarija njene adaptacije primenom liste parametara uključujući energiju za grejanje, hlađenje i drugu primenu, uticaj na eksterno okruženje, kvalitet unutrašnjeg komfora, troškovi.

U radu [44] su opisani koncept integralne analize gradnje i čovekovog uticaja na okolinu primenom višekriterijumske ocene alternativa.

Analiza u radu [60] je pokazala da se najveći ekonomski efekti mogu postići izolacijom spoljnih zidova. Kvantitativna procena navedenog kompleksa fenomena uspešno se obavlja primenom višekriterijumske metode izbora.

Deo specifičnosti problema okruženja u kojem je pisan ovaj rad prikazana je u radovima [76, 77, 47 i 16].

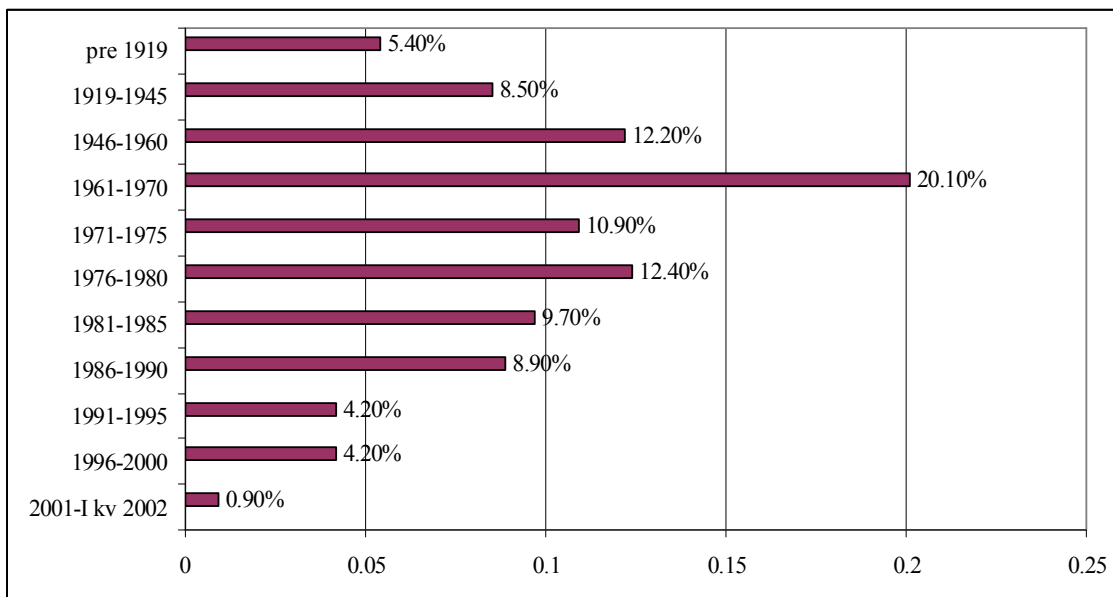
U većini citiranih radova vršena je analiza tretiranog problema na bazi uspostavljenog modela što podrazumeva razna uopštavanja u cilju približavanja realnom problemu.

Proces donošenja odluka u cilju povećanja energetske efikasnosti objekata i postizanja svih pozitivnih efekata koje one donose, odvija se u složenim uslovima i zahteva metodološki pristup zasnovan na naučnim metodama.

3.0 PREDMET I NAČIN ISTRAŽIVANJA

Početno istraživanje usmereno je ka definisanju reprezentativnog uzorka stambenih objekata centralne zone Beograda [47, 49]. Zgrade se razlikuju se po svojoj mikro lokaciji, orijentaciji, projektnom rešenju, periodu izgradnje, konstruktivnim karakteristikama, izolovanosti i slično, a sve ovo utiče na potrošnju energije za centralno grejanje. Postojeći stambeni fond je najveći pojedinačni potrošač energije i zato ima najveći potencijal za smanjenje njene potrošnje.

Na kvalitet postojećeg stambenog fonda, a time i na potrošnju energije, utiču faktori kao što su: starost objekta, tip gradnje, toplotna zaštita i nivo održavanja. Prema nacionalnoj statistici postoje dva tipa gradnje klasifikovani po materijalu koji je korišćen za spoljne zidove. Razlikuju se objekti građeni od "tvrdog materijala" (cigla, kamen, beton, obla građa i savremeni materijali) i objekti građeni od "slabih materijala" (naboj, ćerpič, daska, pleter i sl.). Stambeni fond je u 85% slučajeva izgrađen od "tvrdog materijala" [66]. Na slici 2. prikazana je starosna struktura stambenog fonda Srbije [66].



Slika 2. Starosna struktura stambenog fonda [66]

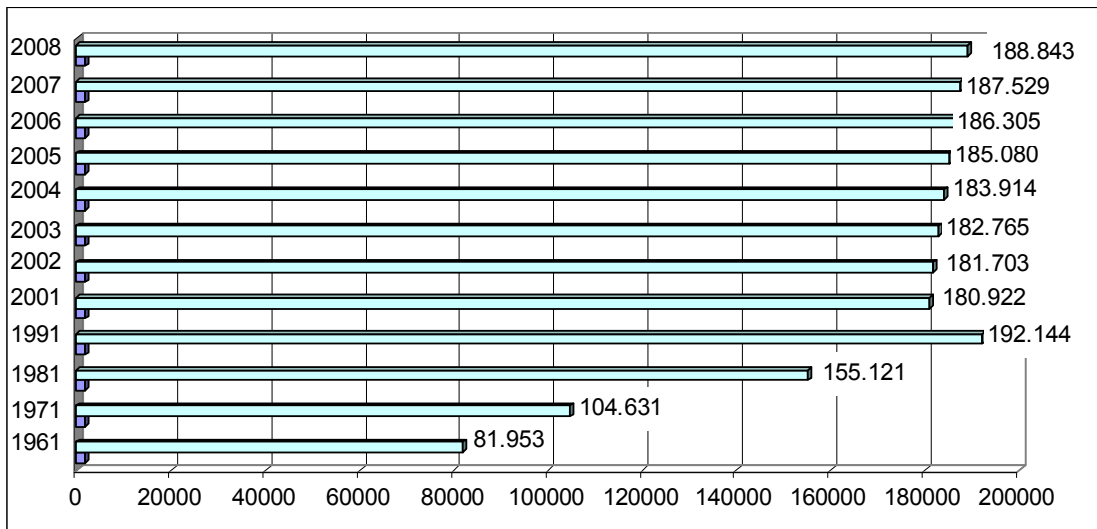
Zajednička karakteristika velikog dela stambenog fonda u Beogradu i u Srbiji je neracionalno velika potrošnja svih vidova energije, prvenstveno za grejanje, a u poslednje vreme, zbog porasta srednjih temperatura tokom letnjih meseci, i za hlađenje zgrada. Zbog karakteristika gradnje i nedostatka propisa o toplotnoj zaštiti objekata, te zgrade su danas veliki potrošači energije, sa prosečnom potrošnjom energije za grejanje preko 200 kWh/m².

U periodu najveće stambene izgradnje, kod nas nisu postojali propisi koji bi regulisali toplotnu zaštitu zgrada, a time i potrošnju energije za njihovo zagrevanje. Razvoj zakonodavnog okruženja igra veliku ulogu u kontroli potrošnje energije u zgradama.

Energetska kriza sedamdesetih godina prošlog veka ukazala je na ograničene resurse i na potrebu da se posveti veća pažnja uštedi energije. Tih godina doneti su i prvi propisi o toplotnoj zaštiti objekata u Srbiji (Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za toplotnu zaštitu zgrada - Službeni list SFRJ 35/70). Godine 1980. doneti su novi zahtevi u pogledu toplotne zaštite zgrada u okviru standarda JUS U.J5.600. Standardi propisuju osnovne tehničke zahteve koji moraju biti zadovoljeni u pogledu toplotne zaštite objekata, kojima su vrednosti dozvoljenih koeficijenata prolaza toplote U smanjene za cca 30 %. Najnoviji propisi su se pojavili u obliku Pravilnika o energetske efikasnosti zgrada - (Službeni glasnik RS, br. 61/2011).

Vidi se da je do trenutka donošenja prvih propisa o toplotnoj zaštiti objekata bilo izgrađeno cca 50% stambenog fonda, a cca 70% do donošenja standarda JUS U.J5.600. Na slici br. 3. prikazan je stambeni fond (u 1.000 m²) u Srbiji [59]. U periodu najveće stambene izgradnje od 1961. do 1981. godine, ukupna površina stanova je skoro udvostručena. Stambeni fond iz 1981. čini 82% stambenog fonda iz 2008. godine.

Godine 1991. došlo je do stagnacije u organizovanoj stambenoj izgradnji, a sa druge strane rasla je potreba za novim stambenim prostorom. Dolazi veliki broj izbeglica i interno raseljenih lica. Kako država nije imala odgovarajuću strategiju dolazi do samoorganizacije građana. Raste broj bespravno podignutih objekata tako da ih je do kraja 2003. godine prijavljeno 376.372 [66]. Procene su da je njihov broj veći od navedenog. Ovi objekti su građeni mimo svih propisa pa i važećeg standarda o toplotnoj zaštiti. Navedeni su podaci za Srbiju. U Beogradu su ti problemi prisutni u većoj meri nego u drugim delovima zemlje.



Slika 3. Stambeni fond Srbije u 1.000 m² [66]

Veliki broj objekata, naročito u centralnoj gradskoj zoni, u Beogradu nije bio priključen na daljinski sistem grejanja. Zgrade su imale svoje sopstvene kotlarnice ili lokalno grejanje po stanovima. Posledica takvog stanja bila je intenzivno kvarenje kvaliteta vazduha i druga zagađenja. Provedena je akcija gašenja postojećih kotlarnica, na gradskom nivou, tako da ih je do kraja 2010. ugašeno preko 1.000 [37]. Eliminisanje kotlarnica su koristile energente koji su neprihvatljivi sa ekološkog aspekta, kao što su ugalj, mazut i druga ulja za loženje.

Širenje gradske mreže toplovoda i povećanje snage toplotnih izvora je omogućilo gašenje kotlarnica. Posebno značajna akcija bila je program priključenja 21.000 stanova zato što najveći broj priključenih stanova nije imao sistem centralnog grejanja. Velikom broju građana, ovom akcijom, značajno se popravio kvalitet stanovanja. Ukupan broj priključenih objekata prikazan je u tabeli 1 [38]. Akcija traje i u toku 2010. godine tako da je ukupna površina priključenih stanova 1.380.090,69 m².

U Beogradu je teško pronaći objekat, ili grupu objekata, koji se svojom formom i veličinom mogu smatrati tipičnim. Analizirano je deset zgrada koji su različite po svojoj mikro lokaciji, orijentaciji, faktoru oblika, periodu izgradnje, konstruktivnim karakteristikama i slično. Površina zgrada se kreće od 413 m² (zgrada 3) do 1.526 m² (zgrada 8). Spratnost se kreće od P+III (zgrada 9) do P+VIII (zgrade 8 i 10). Posmatrani

objekti su građeni u različitim vremenskim periodima. Deo njih je građen između dva svetska rata (zgrade 2,6,9), a najveći deo u periodu intenzivne socijalističke izgradnje.

Tabela 1. Ukupno priključeno objekata [38]

GODINA	STVARNO PRIKLJUČENO		
	OBJEKTI	POVRŠINA	JEDINICE
	kom.	m ²	kom.
1	2	3	4
2002	19	4.417,64	56
2003	473	227.684,05	3.985
2004	632	302.857,65	6.044
2005	465	191.646,16	4.169
2006	342	153.455,48	2.602
2007	409	159.026,23	2.795
2008	405	150.329,12	2.284
2009	64	17.497,00	242
UKUPNO	2.811	1.206.916,33	22.181

Objekti su priključeni na daljinski sistem grejanja Beogradskih elektrana u okviru akcije priključenja 21.000 stanova. Priključenje je izvršeno na osnovu overene projektne dokumentacije [21] i dobijenih svih potrebnih dozvola i saglasnosti.

Iako je teško pronaći objekte koji se smatraju tipičnim, moguće je odrediti zgrade čijim proučavanjem se može doći do zaključaka koji imaju širu primenu [46]. Primećeno je da znatan broj zgrada, građenih u centralnoj zoni Zemuna, po svojim karakteristikama imaju sličnosti sa zgradama 6 i 9. Većina ih je građena tridesetih godina prošlog veka.

Pokazalo se [21] da znatan broj zgrada, građenih između dva svetska rata, ima zajedničke karakteristike sa aspekta toplotne zaštite. Zidovi orjentisani ka severu imaju veću debljinu od onih orjentisanih ka jugu. Kvalitetno su građene. Površina prozora je manja od 1/7 površine poda što se zahteva u standardu iz 1980.

Već je konstatovano da se objekti građeni u periodu intenzivne gradnje razlikuju po orijentaciji, načinu gradnje, ali imaju i neke zajedničke karakteristike:

- kod većine je spoljni zid od pune opeke debljine 38 cm,
- zid prema stepeništu debljine 25 cm
- dvostruke drvene prozore
- površina prozora je veća od 1/7 površine poda
- podrum ispod kompletnog objekta sa stanarskim ostavama i skloništem
- kosi krov sa drvenom konstrukcijom i crepom ili salonit pločama kao pokrivačem

Međusobno će se porediti postojeći stambeni objekti, kao i konkurentna alternativna rešenja, koja uključuju odgovarajuće aktivnosti na energetske sanaciji usmerene ka povećanju energetske efikasnosti zgrada.

4.0 DEFINISANJE ALTERNATIVA SA ASPEKTA ENERGETSKE EFIKASNOSTI OBJEKATA

Povećanje energetske efikasnosti zgrada, odnosno toplotna zaštita zgrada, ušteda svih vidova energije, korišćenje obnovljivih izvora energije i zaštita okoline, danas postaju osnov održivog razvoja [47, 48]. Unapređenje energetske efikasnosti u zgradarstvu podrazumeva kontinuirani i širok opseg delatnosti kojima je krajnji cilj smanjenje potrošnje svih vrsta energije uz iste ili bolje uslove u objektu [61]. Kao posledicu smanjenja potrošnje neobnovljivih izvora energije (fosilnih goriva) i korišćenje obnovljivih izvora energije, imamo smanjenje emisije štetnih gasova (CO₂ i dr.) što doprinosi zaštiti prirodne okoline, smanjenju globalnog zagrevanja i održivom razvoju zemlje.

Početni korak je usmeren ka definisanju parametara koji pomažu ostvarenju postavljenog cilja, povećanju energetske efikasnosti zgrada. Osnovni napor mora biti usmeren ka traženju onih karakteristika koje imaju najveći uticaj [14]. S obzirom da se najveći deo toplotne energije gubi kroz spoljni omotač, prirodno je da se on stavlja u fokus interesovanja. Tako su karakteristike delova zgrada: spoljni zidovi, podovi, tavan i stolarija korišćeni za formiranje alternativa.

Ovaj rad se bavi izborom najpovoljnije alternative, sa aspekta energetske efikasnosti svake od deset analiziranih zgrada. Međusobno će se porediti postojeći načini gradnje, alternativa A₁, kao i konkurentna alternativna rešenja koja uključuju odgovarajuće tehničke zahvate na energetske sanaciji u cilju povećanja energetske efikasnosti zgrade. Spoljni zidovi, pod i tavan objekta obložiće se toplotnom izolacijom debljine 5 cm, 10 cm, ili 20 cm. U proračunima je korišćena izolacija sa karakteristikom $\lambda=0,041 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Spoljni prozori su analizirani u tri varijante kvaliteta:

- kvalitet 1- drveni dvostruki prozor, $U = 2,3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- kvalitet 2- PVC prozor sa dva stakla, $U = 1,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$
- kvalitet 3- PVC prozor sa nisko emisionim staklom, $U = 1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Prozori kvaliteta 2 i 3 poseduju elemente za prirodnu ventilaciju prostora i kada je krilo prozora zatvoreno.

Razmatrane su i ocenjivane sledeće alternative:

- Alternativa A_1 : neizolovan objekat, prozor kvaliteta 1, na prozor se stavljaju zaptivne trake zbog smanjenja ventilacionih gubitaka
- Alternativa A_2 : neizolovan objekat, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A_3 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1
- Alternativa A_4 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 10 cm, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A_5 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 20 cm, prozor kvaliteta 3, izolovani zidovi prema negrejanim prostorijama izolacijom debljine 5 cm

Formiraće se sistem kriterijuma: tehničko-tehnološke, ekonomsko-finansijske, tržišne i ekološke prirode i izvršiti ocenjivanje upoređivanih alternativa.

Praktičan prikaz predloženog višekriterijumskog pristupa pokazaće se na izboru najpovoljnije alternative od pet upoređivanih (A_1, A_2, \dots, A_5) za svaku zgradu zasebno. Evaluacija alternativnih projektnih rešenja izvršiće se u sistemu od šest različitih i raznorodnih kriterijuma (f_1, \dots, f_6), sa različitim relativnim značajem (težinom) i sa zahtevima za minimumom/maksimumom svakog od ustanovljenih kriterijuma.

4.1 KARAKTERISTIKE OBJEKATA

Predmet analize su zgrade koji se razlikuju svojom makro i mikro lokacijom, formom, veličinom, brojem spratova, faktorom oblika, tako da se može smatrati da reprezentuju deo stambenog fonda Beograda. Posmatrane zgrade su kao i većina stambenog fonda Beograda izgrađeni u periodu kada se nije vodilo računa o toplotnoj zaštiti objekata.

Međusobno će se porediti postojeće stambene zgrade, kao i konkurentna alternativna rešenja koja uključuju odgovarajuće tehničke zahvate na energetske sanaciji zgrada. Predviđena je energetska sanacija zgrada koja podrazumeva moguće građevinske i druge radove, ugradnju toplotne izolacije na spoljne zidove, pod i tavan zgrade, kao i ugradnju

kvalitetnijih spoljnih prozora. Poređiće se više alternativnih rešenja koja su definisana debljinom predviđene toplotne izolacije i kvalitetom spoljne stolarije.

Karakteristike zgrada dominantno utiču na potrošnju energije u stambenom sektoru. Analiza karakteristika zgrade i njihovog uticaja predstavlja siguran put ka lociranju suštine problema [28, 68]. Tako je pokazano da karakteristike zgrade utiču sa 42% u potrošnji energije u stambenom fondu Holandije [54].

Zgrade se sastoje od više stambenih jedinica. Spoljni omotač je zidan opekom, sa toplotnim mostovima na uglovima zgrade i serklažima. Debljina spoljnog zida je 38 ili 51 cm. Međuspratna konstrukcija na svim nivoima je monta. Prozori i spoljna vrata su dvostruki, drveni. Ni jedan element spoljnog omotača izvorno nije toplotno izolovan, a izolacija se pojavljuje na zgradama koje su naknadno nadziđivane.

Deo zgrada je u izvornom obliku, a deo je promenjen naknadnim nadziđivanjem. Kako je društvo siromašilo, nadziđivanje postaje sve popularnije. Iako su nadziđivanja često rađena u periodu kada su postojali neki od propisa koji regulišu toplotnu zaštitu zgrada, nisu se primenjivali na bazni deo objekta. Čini se da su kompromisi zbog smanjene ekonomske moći građana najviše pravljeni u oblasti toplotne zaštite zgrada.

U nastavku je prikazano deset zgrada koji su predmet analize. Dati su osnovni podaci:

- godina završetka gradnje
- spratnost zgrade
- korisna površina
- lokacija zgrade – opština

Pored navedenih podataka postoji kratak opis objekta sa podacima koji su relevantni za ovo istraživanje. Za svaku zgradu prikazana je osnova karakterističnog sprata.

4.1.1 KARAKTERISTIKE ZGRADE 1

Godina završetka gradnje: 1960.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp

Korisna površina: 1.391 m²

Pozicija: slobodno stojeća

Opština: Voždovac

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom

-ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

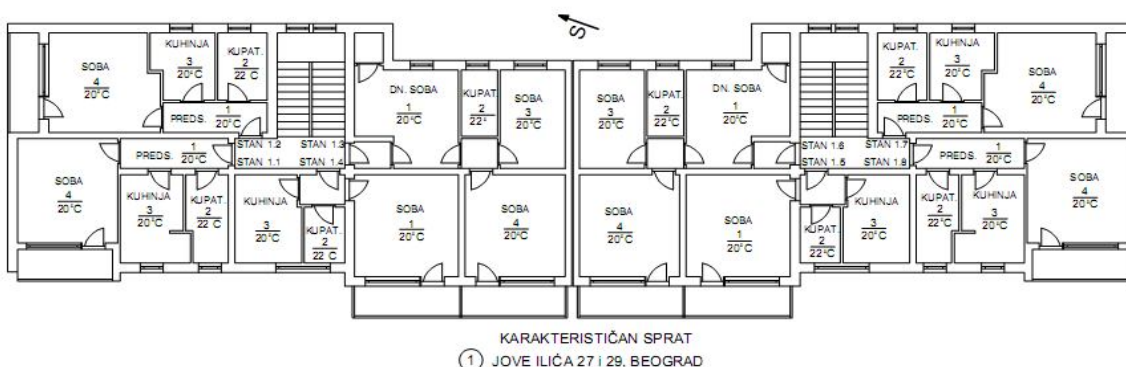
Krov: drvena konstrukcija sa salonit pločama

Tavan: slobodan prostor, moguća je ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: slabo, krov prokišnjava, ulazna vrata bez mehanizma za zatvaranje,
razbijen deo prozora na vertikali stepeništa

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 4.



Slika 4. Karakterističan sprat zgrade br. 1

U trenutku projektovanja i izvođenja instalacije centralnog grejanja ni jedan segment spoljnog plašta zgrade nije bio toplotno izolovan.

4.1.2 KARAKTERISTIKE ZGRADE 2

Godina završetka gradnje: 1930.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp

Korisna površina: 821 m²

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

Opština: Vračar

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 51 cm i 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom

-slobodne ulična i dvorišna fasada, ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su dve stambene jedinice, stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

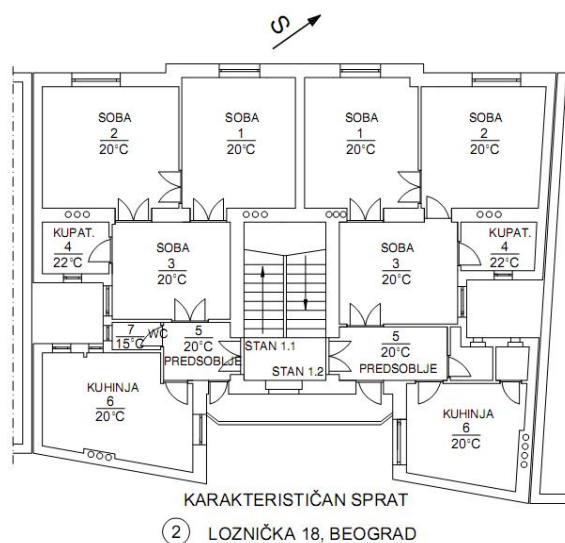
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: nadziđivanjem pretvoren u stambeni prostor

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima, nadzidani deo ima PVC stolariju

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 5.



Slika 5. Karakterističan sprat zgrade br. 2

Nije kalkulisana izolacija na podu stambenog dela podruma. Nadzidani deo je termički izolovan stiroporom debljine 5 cm

4.1.3 KARAKTERISTIKE ZGRADE 3

Godina završetka gradnje: 1959.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp+Vsp

Korisna površina: 413 m²

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

Opština: Vračar

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-slobodne ulična i dvorišna fasada, ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

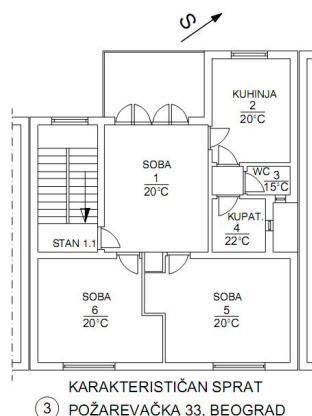
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: slobodan prostor, moguća je ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 6.



Slika 6. Karakterističan sprat zgrade br. 3

Izvorno ni jedan segment spoljnog plašta zgrade nije bio toplotno izolovan.

4.1.4 KARAKTERISTIKE ZGRADE 4

Godina završetka gradnje: 1955.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp

Korisna površina: 1.171 m²

Pozicija: slobodno stojeća

Opština: Zvezdara

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

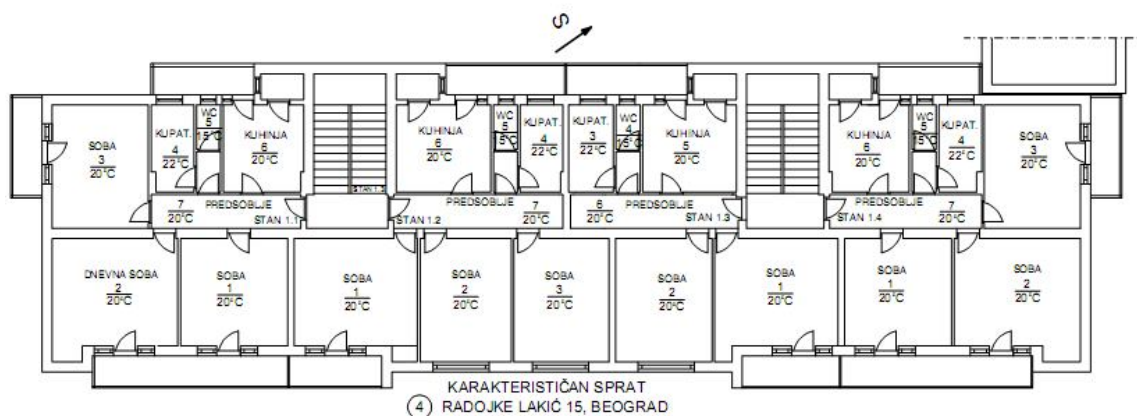
Krov: drvena konstrukcija sa završnim crepom

Tavan: deo pretvoren u stambeni prostor i izolovan sa 4 cm stiropora, a deo je slobodan pa je moguća naknadna ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 7.



Slika 7. Karakterističan sprat zgrade br. 4

Manji deo spoljnog plašta zgrade (adaptirani deo potkrovlja) imao je izolaciju.

4.1.5 KARAKTERISTIKE ZGRADE 5

Godina završetka gradnje: 1963.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp+Vsp

Korisna površina: 953 m²

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

Opština: Voždovac

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-slobodne ulična i dvorišna fasada, ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

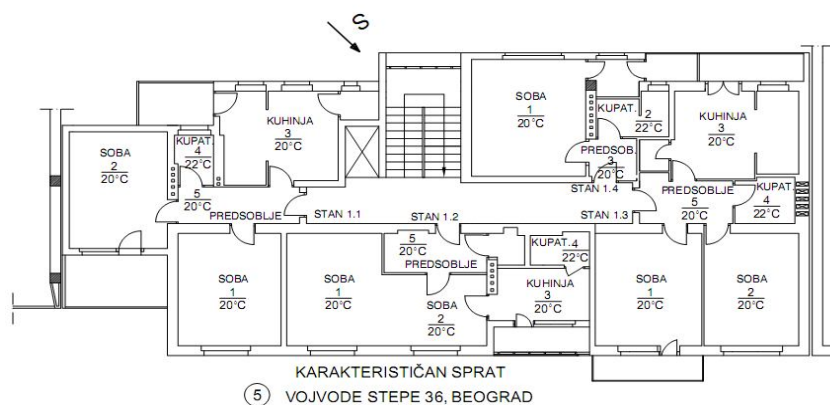
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: slobodan prostor, moguća je ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: slabo, krov prokišnjava, ulazna vrata bez mehanizma za zatvaranje, razbijen deo prozora na vertikali stepeništa

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 8.



Slika 8. Karakterističan sprat zgrade br. 5

4.1.6 KARAKTERISTIKE ZGRADE 6

Godina završetka gradnje: 1934.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp

Korisna površina: 905 m²

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

Opština: Zemun

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 51 cm i 38 cm, obostrano malterisan

-slobodne ulična i dvorišna fasada, ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su četiri stambene jedinice, stanarske ostave i podstanica

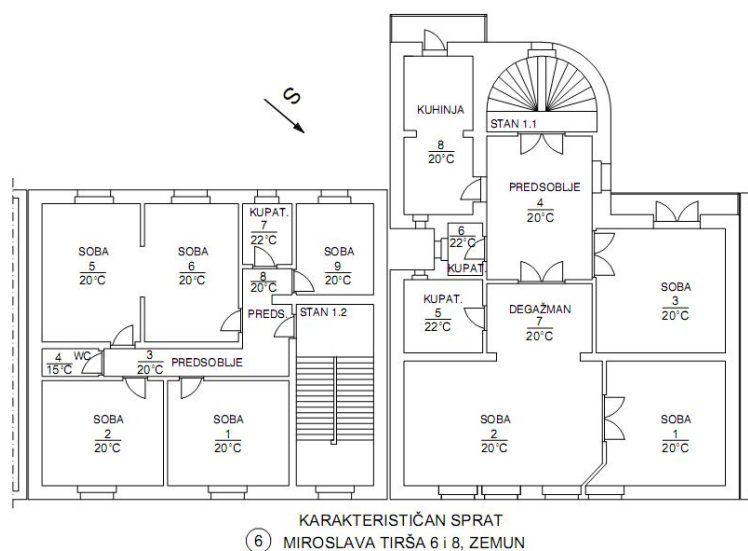
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: slobodan prostor, moguća je ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 9.



Slika 9. Karakterističan sprat zgrade br. 6

4.1.7 KARAKTERISTIKE ZGRADE 7

Godina završetka gradnje: 1958.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp

Korisna površina: 622 m²

Pozicija: slobodno stojeća

Opština: Palilula

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

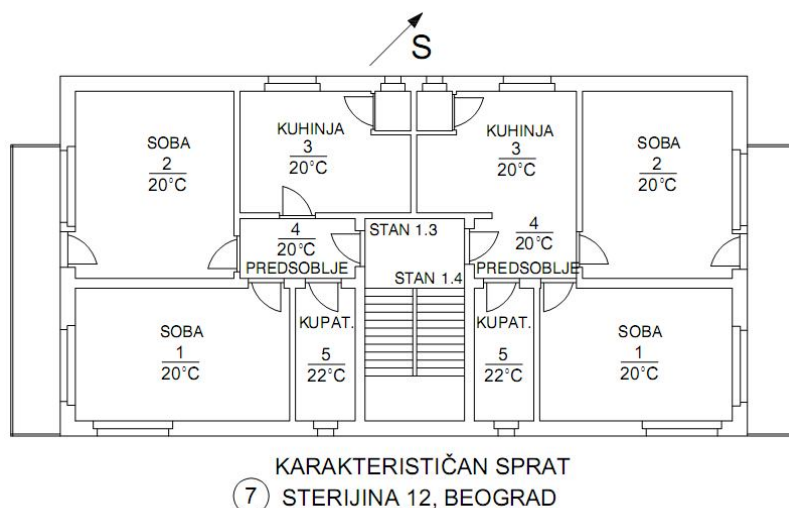
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: nadziđivanjem pretvoren u stambeni prostor i izolovan sa 5 cm izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima, nadzidani deo ima PVC stolariju

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 10.



Slika 10. Karakterističan sprat zgrade br. 7

4.1.8 KARAKTERISTIKE ZGRADE 8

Godina završetka gradnje: 1967.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp+Vsp+VIsp+VIIsp+VIIIsp

Korisna površina: 1.526 m²

Pozicija: slobodno stojeća

Opština: Voždovac

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

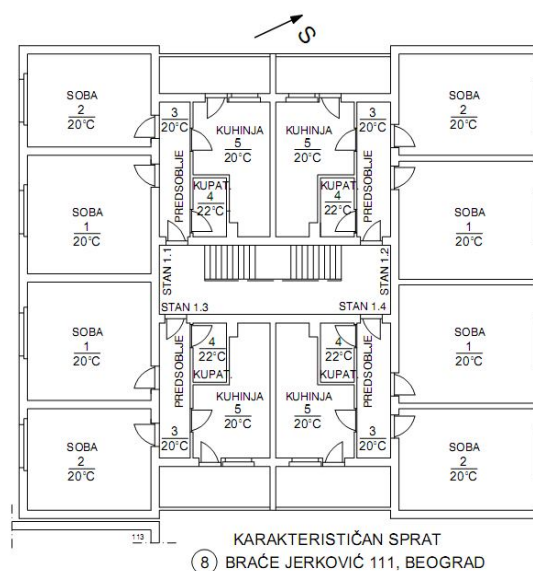
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: nadziđivanjem pretvoren u stambeni prostor i izolovan sa 5 cm izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima, nadzidani deo ima PVC stolariju

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 11.



Slika 11. Karakterističan sprat zgrade br. 8

4.1.9 KARAKTERISTIKE ZGRADE 9

Godina završetka gradnje: 1934.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp

Korisna površina: 438 m²

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

Opština: Zemun

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 51 cm i 38 cm, obostrano malterisan

-slobodne ulična i dvorišna fasada, ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnja toplotne izolacije

-smeštena je jedna stambena jedinice, stanarske ostave i podstanica

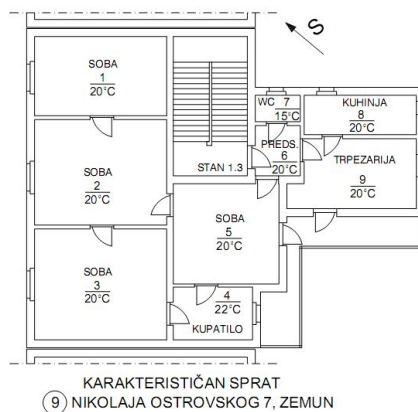
Krov: drvena konstrukcija sa završnim limom

Tavan: nadziđivanjem pretvoren u stambeni prostor i izolovan sa 5 cm izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima, nadzidani deo ima PVC stolariju

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 12.



Slika 12. Karakterističan sprat zgrade br. 9

2.10 KARAKTERISTIKE ZGRADE 10

Godina završetka gradnje: 1963.

Spratnost zgrade: Po+Pr+Isp+IIsp+IIIsp+IVsp+Vsp+VIsp+VIIsp+VIIIsp

Korisna površina: 1.132 m²

Pozicija: slobodno stojeća

Opština: Voždovac

Građevinske karakteristike:

Spoljni zid: -puna opeka debljine 38 cm, obostrano malterisan produžnim malterom
-ne postoje urbanističke i druge prepreke za ugradnju izolacije

Pregradni zidovi: puna opeka debljine 12 cm i 25 cm

Podrum: -moguća je ugradnju toplotne izolacije

-smeštene su stanarske ostave, podstanica i sklonište osnovne zaštite

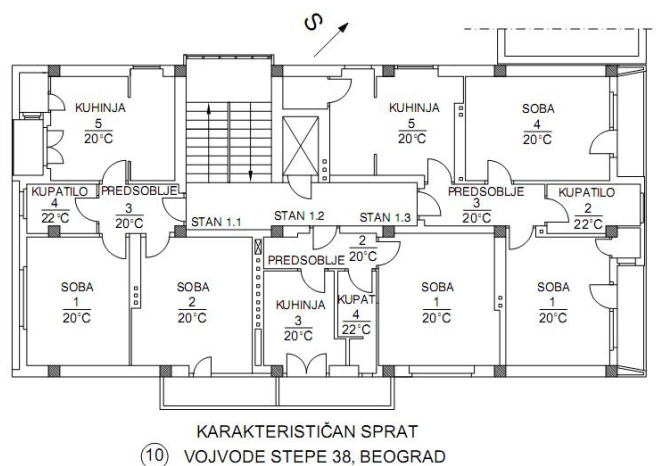
Krov: drvena konstrukcija sa završnim crepom

Tavan: deo pretvoren u stambeni prostor i izolovan sa 4 cm stirodura, a deo je slobodan pa je moguća naknadna ugradnju toplotne izolacije

Prozori: drveni sa dvostrukim krilima

Održavanje: dobro

Karakterističan sprat je prikazan na slici br. 13.



Slika 13. Karakterističan sprat zgrade br. 10

5.0 FORMIRANJE SISTEMA KRITERIJUMA

U prethodnom poglavlju definisane su alternative koje je potrebno oceniti i izabrati najpovoljniju. Svi faktori koji utiču na odluku, odnosno svi ishodi koje bi imalo eventualno rešenje, posmatraju se kao kriterijumi čije vrednosti treba da budu optimalne [33, 34]. Dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično ili potpuno konfliktni [35].

Razmatrani kriterijumi mogu po svojoj prirodi biti veoma raznorodni, izraženi u različitim mernim jedinicama, od novčanih jedinica, preko jedinica fizičkih veličina, do verovatnoća ili subjektivnih procena datih po nekoj skali koja se formira za konkretni problem.

Ocenjivanje alternativa i izbor najpovoljnije izvršice se u sistemu sledećih kriterijuma:

- f_1 – godišnja potrebna energija za grejanje objekata
- f_2 – koeficijent energetske sanacije objekata
- f_3 – trošak nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje objekata
- f_4 – trošak priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana"
- f_5 – eksploatacioni trošak
- f_6 – ekološki kriterijum

Evaluacija alternativa izvršice se u sistemu adekvatnih kriterijuma koji su izabrani vodeći računa o činjenici da veći broj uticajnih elemenata obuhvata većinu relevantnih uticajnih faktora ali otežava analizu i može da dovede do zamagljivanja rezultata, a manji broj omogućava bržu i efikasniju analizu i izbor, ali postoji mogućnost izostavljanja nekih značajnih elemenata [71].

5.1 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GREJANJE OBJEKATA

Za potrebe ovog rada korišćeni su rezultati proračuna transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote za alternativu A_1 i specifikacija opreme za centralno grejanje analiziranih objekata [21]. Proračun toplotnih gubitaka je rađen za svaki od objekata za svaku varijantu

energetske sanacije. Koeficijenti prolaza toplote U , korišćeni za proračun toplotnih gubitaka, za alternativu A_1 usvojeni su iz literature [9], a na osnovu konstrukcije objekta. Koeficijenti prolaza toplote za alternative A_2, \dots, A_5 izračunati su, saglasno standardu SRPS EN ISO 6946, na osnovu podataka o konstrukciji objekta i primenjenim materijalima [10]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_m}{\lambda_m} + R_{se}} \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (1)$$

- U W/(m²K) - koeficijent prolaza toplote
 R_{si} i R_{se} (m²K/W) - koeficijenti koji vrednuju otpor prelasku toplote
 λ_m W/(mK) - koeficijent toplotne provodljivosti
 d_m (m) - debljina m-tog sloja zida

Proračunati zbir transmisionih i ventilacionih gubitaka je osnov za proračun troška opreme za centralno grejanje i troška priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana".

Proračun godišnje potrebne energije za grejanje objekta $Q_{H,nd}$ rađen je po metodologiji koja je propisana u [55].

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * Q_{H,gn} \text{ (kWh/a)} \quad (2)$$

Odnosno:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * (Q_{int} + Q_{sol}) \text{ (kWh/a)} \quad (3)$$

- $Q_{H,nd}$ (kWh/a) - godišnja potrebna energije za grejanje
 $Q_{H,ht}$ (kWh/a) - godišnja potrebna energija za nadoknadu gubitaka toplote
 Q_{int} (kWh/a) - godišnja količina energije koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote
 Q_{sol} (kWh/a) - godišnja količina energije koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja
 $\eta_{H,gn}$ - faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja

Godišnja potrebna energija za nadoknadu gubitaka toplote računa se na sledeći način:

$$Q_{H,ht} = (H_T + H_V) * 24 * HDD * 10^{-3} \text{ (kWh/a)} \quad (4)$$

H_T (W/K) - koeficijent transmisionih gubitaka toplote

H_V (W/K) - koeficijent ventilacionih gubitaka toplote

HDD=2520 - broj stepen dana za Beograd

$$H_T = \sum_i (F_{xi} * U_i * A_i) + H_{TB} \quad (5)$$

F_{xi} - faktor korekcije temperature za i-ti građevinski element

U_i (W/(m²K))- koeficijent prolaza toplote i-tog građevinskog elementa

A_i (m²) - površina i-tog građevinskog elementa

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} * A \quad (7)$$

U_{TB} (W/K) - transmisioni toplotni gubitak zgrade usled uticaja toplotnih mostova

A (m²) - zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (termički omotač)

$\Delta U_{TB} = 0,10$ (W/(m²K)) - usvojeno po preporuci [55]

$$H_V = \rho_a * c_p * V * n \quad (8)$$

V (m³) - zapremina grejanog prostora

n (h⁻¹) - broj izmena vazduha na čas

$\rho_a * c_p = 0,33$ (Wh/(m³K))

Godišnja potrebna energije za grejanje objekta dobijena je kada od godišnje potrebne energije za nadoknadu gubitaka toplote se oduzme količina energije koja potiče od unutrašnjih dobitaka Q_{int} i godišnje količine energije koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja Q_{sol} . Količina energije koja potiče od unutrašnjih dobitaka računata je na sledeći način:

$$Q_{int} = A_f * (q_p + q_E) \text{ (kWh/a)} \quad (9)$$

- A_f (m^2) - korisna površina zgrade
 q_p (kWh/m^2a) - toplota dobijena od ljudi
 q_E (kWh/m^2a) - toplota dobijena od električnih uređaja

Odavanje toplote ljudi po jedinici površine iznosi $1,8$ (W/m^2), a prisustvo ljudi tokom dana je 12 (h/dan) [55], pa je količina energije jednaka:

$$q_p = 1,8 * 12 * HD * 10^{-3} \text{ (kWh/m}^2\text{a)} \quad (10)$$

$HD=175$ (dan/a)- broj dana za grejanje za Beograd

Toplota dobijena od električnih uređaja određena je na osnovu godišnje potrošnje električne energije 30 (kWh/m^2) [55], pa je:

$$q_E = 30 * HD/365 \text{ (kWh/m}^2\text{a)} \quad (11)$$

Količina energije koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja:

$$Q_{sol} = F_{sh} * A_{sol} * I_{sol} * \tau_{sol} \text{ (kWh/a)} \quad (12)$$

- $F_{sh} = 0,9$ - faktor osenčenosti zgrade za nezaklonjen položaj [55]
 A_{sol} (m^2) - korigovana površina dela zgrade izloženog Suncu
 $I_{sol} * \tau_{sol}$ (kWh/m^2) - srednje sume Sunčevog zračenja

Za transparentni deo zgrade korigovana površina je računat na sledeći način:

$$A_{sol,gl} = g_{gl} * (1 - F_F) * A_W \quad (13)$$

- g_{gl} - faktor propustljivosti Sunčevog zračenja
 F_F - faktor rama, 25% za prozor kvaliteta 1 i 35% za prozore kvaliteta 2 i 3
 A_W (m^2) - površina građevinskog otvora prozora

$$g_{gl} = 0,9 * g \quad (14)$$

g - računski stepen propustljivosti za različita zastakljenja 0,71 i 0,62

Za spoljni zid zgrade korigovana površina je računat na sledeći način:

$$A_{sol,c} = \alpha_{s,c} * R_{s,c} * U_c * A_c \quad (15)$$

$\alpha_{s,c} = 0,6$ - emisivnost za spoljne površine zida za svetlije boje fasade

$R_{s,c} = 1/25$ (m²K/W) - otpor prelazu toplote za spoljnu stranu zida

U_c (W/(m²K)) - koeficijent prolaza toplote za spoljni zid

A_c (m²) - površina spoljnog zida

Srednje sume Sunčevog zračenja za zimski period $I_{sol} * \tau_{sol}$ (kWh/m²) uzete su na osnovu orijentacije slobodne fasade zgrade [55].

Jedan od pokazatelja toplotnih karakteristika zgrade je i specifična godišnja potrebna energija za grejanje $Q_{H,an}$. Računa se na sledeći način:

$$Q_{H,an} = \frac{Q_{H,nd}}{A_f} \quad (\text{kWh/m}^2\text{a}) \quad (16)$$

U nastavku će se za svaku zgradu definisati položaj, pretežna orijentacija fasada i efektivna površina. U tabelama od 2 do 11 prikazani su rezultati proračuna toplotnih karakteristika zgrada: ukupni gubici toplote, godišnje potrebna energije za nadoknadu gubitaka toplote, unutrašnji dobici toplote, solarni dobici toplote, godišnje potrebna energije za grejanje i specifična godišnja potrebna energija za grejanje zgrade. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grejanje $Q_{H,nd}$ (kWh/a) za svaku zgradu po alternativama, prikazani su u nastavku na dijagramima od sl. 14. do sl. 23.

5.1.1 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 1

Pozicija: slobodno stojeća

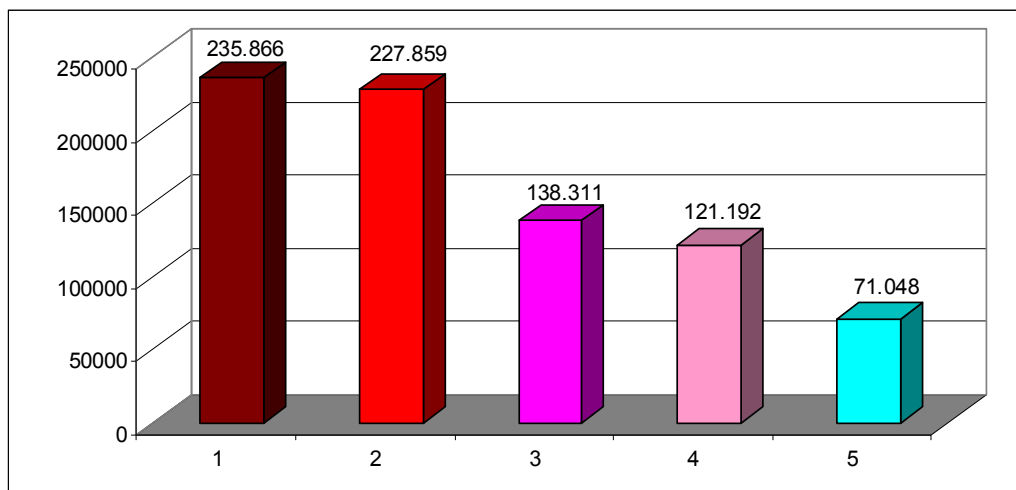
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severoistok i jugozapad

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 1.391 m²

Tabela 2. Toplotne karakteristike zgrade br. 1

ALTERNATIVE			Q_{T+Q_V}	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
Br.	Oz.	Opis	W	G.pot.en. za nado. gubitaka kWh/a	Unutraš. dobici toplote kWh/a	Solarni dobici toplote kWh/a	Godišnja potrebna energija kWh/a	Spec.god potrebna energija kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	268.963	307.541	25.264	47.874	235.866	170
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	256.291	295.118	25.264	43.368	227.859	164
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	218.155	203.545	25.264	41.302	138.311	99
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	131.321	177.872	25.264	32.572	121.192	87
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	79.844	122.525	25.264	27.264	71.048	51



Slika 14. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 1

5.1.2 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 2

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

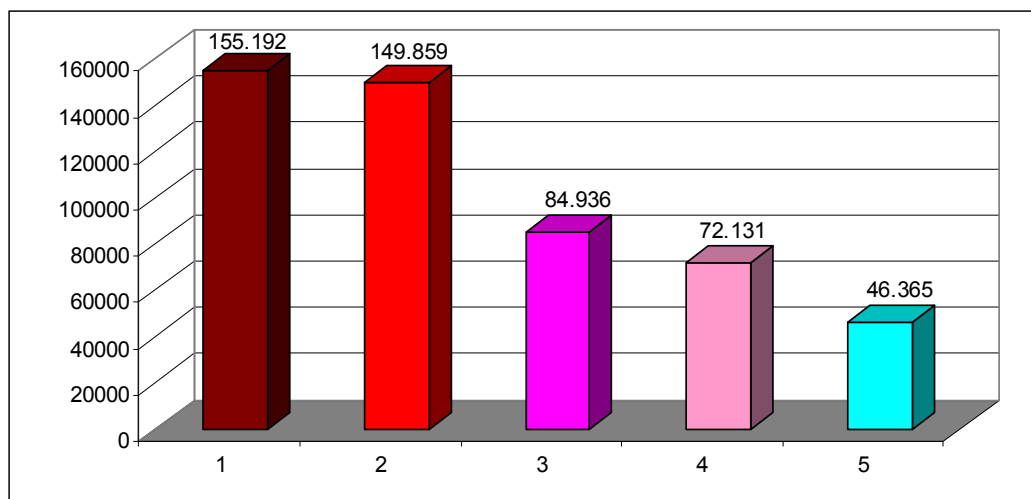
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 821 m²

Tabela 3. Toplotne karakteristike zgrade br. 2

			Q_T+Q_V	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
ALTERNATIVE			Ukupni gubici toplote	G.pot.e. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	131.760	194.269	14.917	24.958	155.192	189
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	127.349	186.398	14.917	22.367	149.859	182
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	94.339	121.487	14.917	22.380	84.936	103
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	66.474	104.518	14.917	18.131	72.131	88
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	45.491	76.047	14.917	15.370	46.365	56



Slika 15. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 2

5.1.3 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 3

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

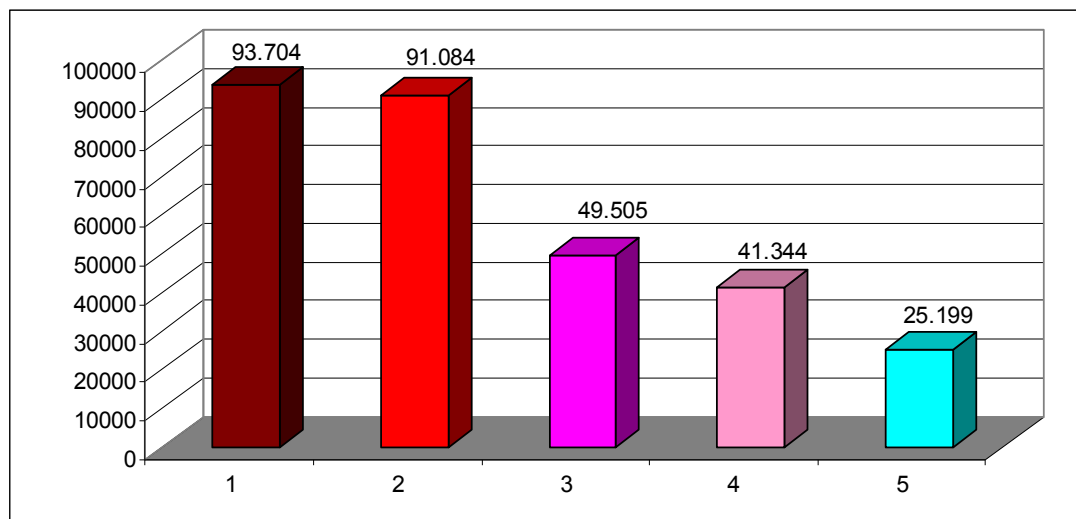
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 413 m²

Tabela 4. Toplotne karakteristike zgrade br. 3

			Q_T+Q_V	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
ALTERNATIVE			Ukupni gubici toplote	G.pot.en. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	74.085	114.345	7.501	13.561	93.704	227
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	70.654	110.366	7.501	12.175	91.084	221
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	52.900	68.697	7.501	12.082	49.505	120
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	31.344	58.246	7.501	9.746	41.344	100
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	22.076	40.631	7.501	8.245	25.199	61



Slika 16. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 3

5.1.4 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 4

Pozicija: slobodno stojeća

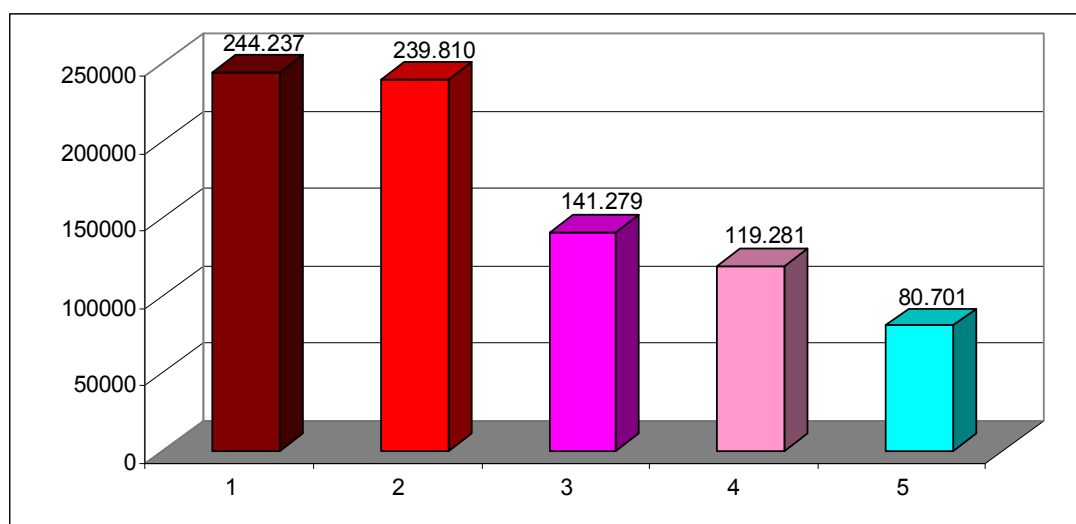
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 1.171 m²

Tabela 5. Toplotne karakteristike zgrade br. 4

ALTERNATIVE			Q_{T+Q_V}	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
Br.	Oz.	Opis	W	G.pot.en. za nado. gubitaka kWh/a	Unutraš. dobici toplote kWh/a	Solarni dobici toplote kWh/a	Godišnja potrebna energija kWh/a	Spec.god potrebna energija kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	177.237	297.120	21.277	32.685	244.237	208
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	168.003	290.252	21.277	30.194	239.810	205
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	138.585	187.759	21.277	26.151	141.279	121
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	84.634	159.204	21.277	19.460	119.281	102
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	64.819	117.057	21.277	15.820	80.701	69



Slika 17. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 4

5.1.5 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 5

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

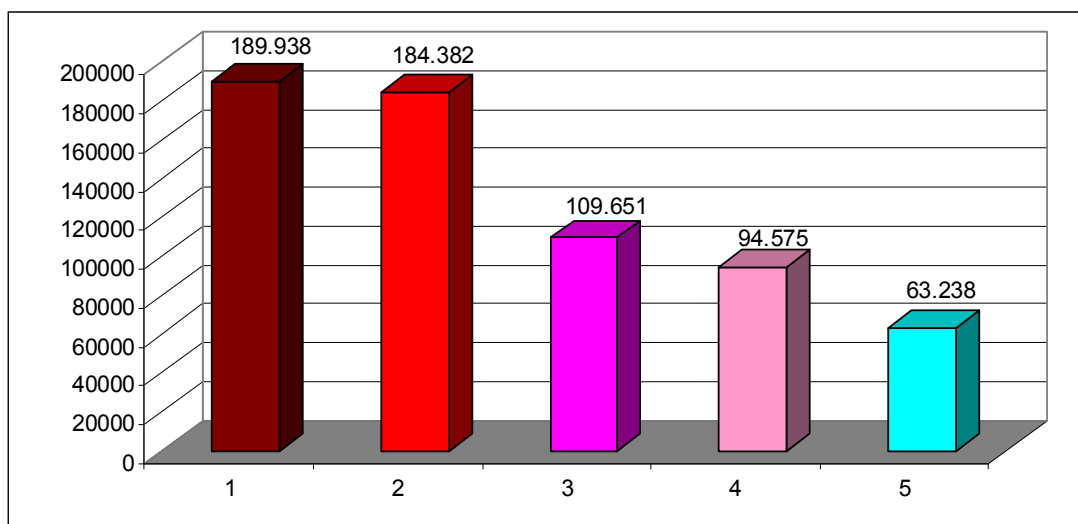
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severoistok i jugozapad

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 953 m²

Tabela 6. Toplotne karakteristike zgrade br. 5

ALTERNATIVE			Q_{T+Q_V}	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
Br.	Oz.	Opis	W	G.pot.e. za nado. gubitaka kWh/a	Unutraš. dobici toplote kWh/a	Solarni dobici toplote kWh/a	Godišnja potrebna energija kWh/a	Spec.god potrebna energija kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	160.325	235.748	17.309	29.437	189.938	199
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	152.775	227.432	17.309	26.620	184.382	193
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	123.052	151.663	17.309	25.560	109.651	115
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	81.882	131.383	17.309	20.251	94.575	99
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	55.707	96.848	17.309	16.988	63.238	66



Slika 18. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 5

5.1.6 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 6

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

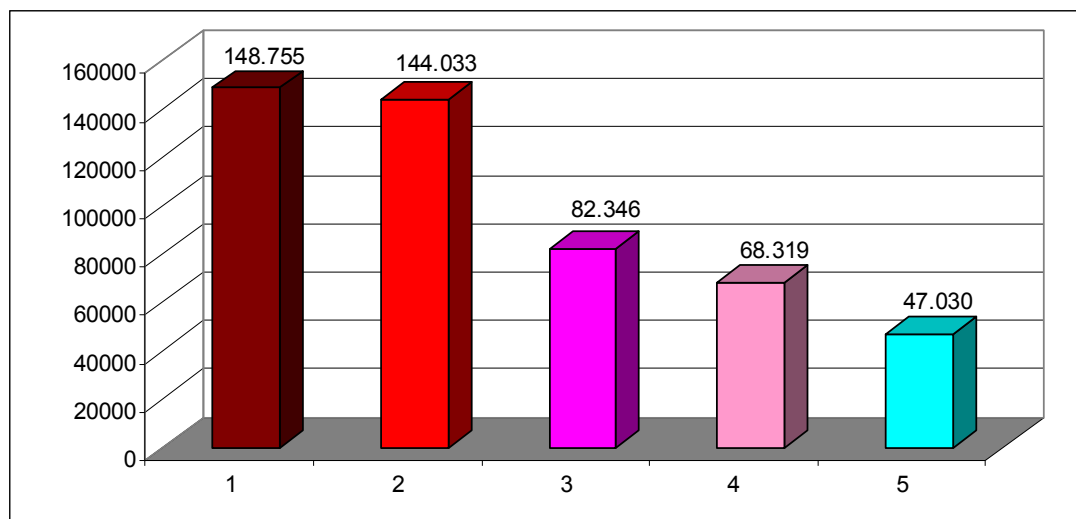
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severoistok i jugozapad

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 905 m²

Tabela 7. Toplotne karakteristike zgrade br. 6

			Q_{T+Q_V}	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
ALTERNATIVE			Ukupni gubici toplote	G.pot.e. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	132.411	189.210	16.437	24.844	148.755	164
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	125.802	182.041	16.437	22.347	144.033	159
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	103.514	120.005	16.437	21.991	82.346	91
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	62.960	101.733	16.437	17.659	68.319	75
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	47.213	77.748	16.437	14.908	47.030	52



Slika 19. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 6

5.1.7 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 7

Pozicija: slobodno stojeća

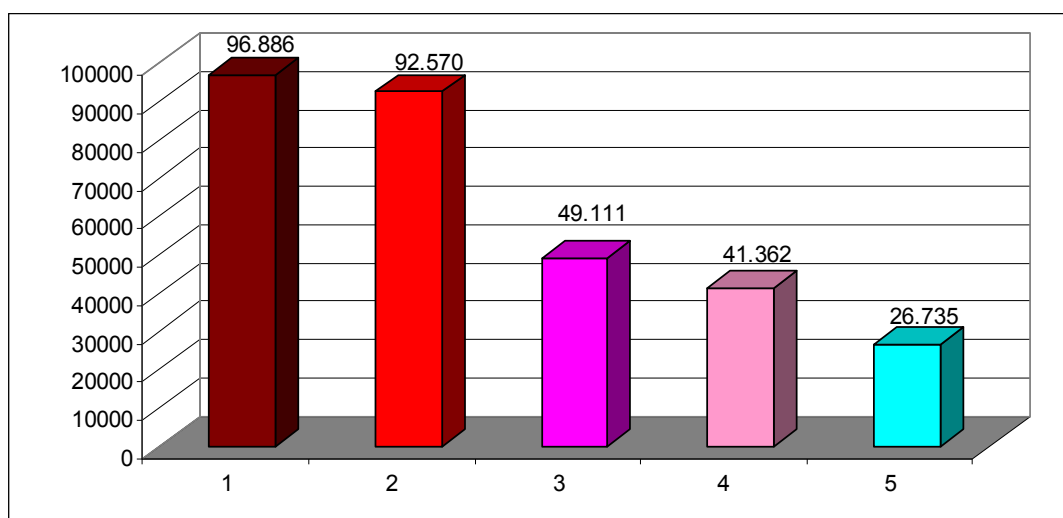
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 622 m²

Tabela 8. Toplotne karakteristike zgrade br. 7

ALTERNATIVE			Q_T+Q_V	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
			Ukupni gubici toplote	G.pot.en. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	103.936	130.813	11.293	23.326	96.886	156
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	98.819	124.260	11.293	21.043	92.570	149
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	85.839	80.200	11.293	20.430	49.111	79
4	A ₄	izol.10cm, proz.1,5	52.192	68.389	11.293	16.286	41.362	67
5	A ₅	izol.20cm, proz.1,1	34.265	51.230	11.293	13.702	26.735	43



Slika 20. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 7

5.1.8 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 8

Pozicija: slobodno stojeća

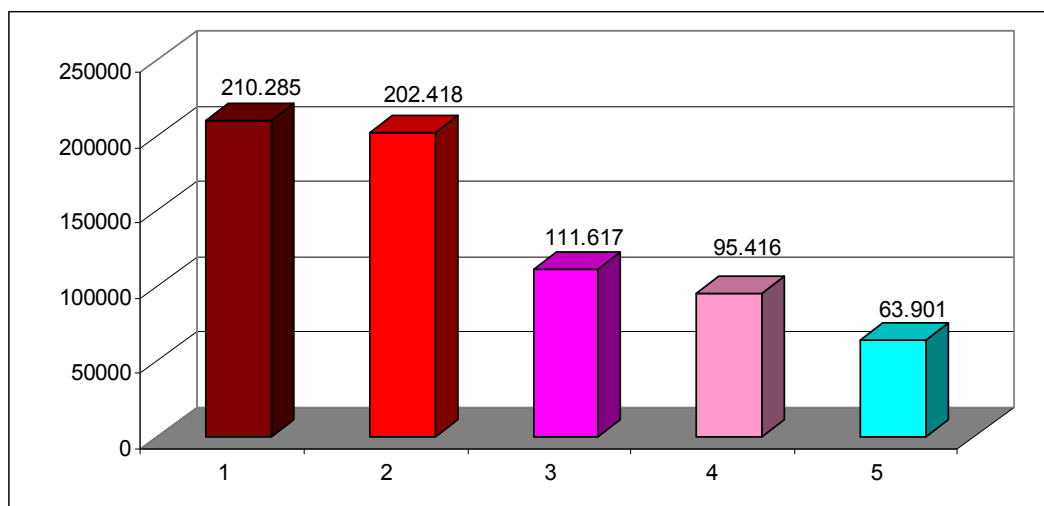
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad, severoistok, jugozapad i
jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na
posmatranu zgradu

Korisna površina: 1.526 m²

Tabela 9. Toplotne karakteristike zgrade br. 8

			Q_{T+Q_V}	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
ALTERNATIVE			Ukupni gubici toplote	G.pot.e. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	212.862	281.122	27.714	44.569	210.285	138
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	203.481	269.177	27.714	40.408	202.418	133
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	164.744	176.343	27.714	38.333	111.617	73
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	99.060	152.135	27.714	30.163	95.416	63
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	74.875	115.777	27.714	25.221	63.901	42



Slika 21. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 8

5.1.9 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 9

Pozicija: izvedena u nizu sa susednim zgradama

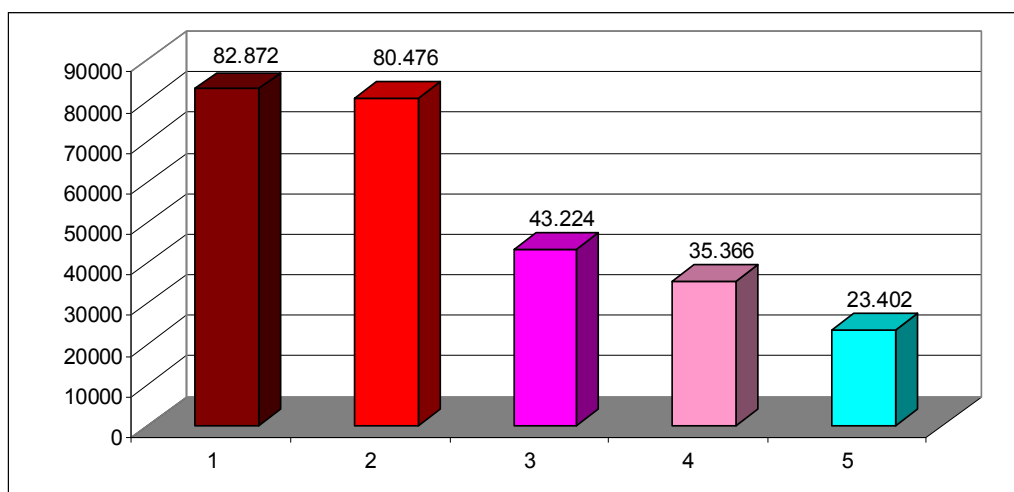
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 438 m²

Tabela 10. Toplotne karakteristike zgrade br. 9

			Q_T+Q_V	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
ALTERNATIVE			Ukupni gubici toplote	G.pot.en. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	70.517	103.306	7.956	12.895	82.872	189
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	67.299	99.719	7.956	11.680	80.476	184
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	56.652	61.928	7.956	11.130	43.224	99
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	33.756	51.768	7.956	8.781	35.366	81
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	22.578	38.403	7.956	7.351	23.402	53



Slika 22. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 9

5.1.10 GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA ZGRADU 10

Pozicija: slobodno stojeća

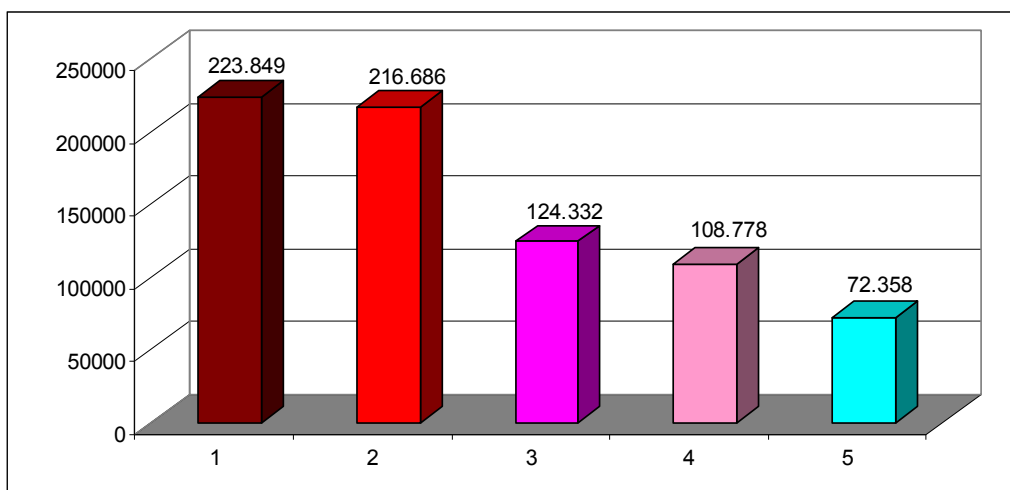
Pretežna orijentacija slobodnih fasada: severozapad i jugoistok

Osenčenost: objekti u neposrednom okruženju ne utiču svojom senkom na posmatranu zgradu

Korisna površina: 1.132 m²

Tabela 11. Toplotne karakteristike zgrade br. 10

ALTERNATIVE			Q_T+Q_V	$Q_{H,ht}$	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,nd}$	$Q_{H,an}$
			Ukupni gubici toplote	G.pot.e. za nado. gubitaka	Unutraš. dobici toplote	Solarni dobici toplote	Godišnja potrebna energija	Spec.god potrebna energija
Br.	Oz.	Opis	W	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m ² a
1	A ₁	zid 38cm	181.541	285.834	20.564	42.686	223.849	198
2	A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	173.657	274.958	20.564	38.897	216.686	191
3	A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	140.945	179.790	20.564	36.025	124.332	110
4	A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	92.238	156.327	20.564	27.955	108.778	96
5	A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	65.344	115.262	20.564	23.216	72.358	64



Slika 23. Godišnja potrebna energija za grejanje, $Q_{H,nd}$ (kWh/a), po alternativama zgrade br. 10

5.1.11 ANALIZA PRORAČUNA GODIŠNJE POTREBNE ENERGIJE

Zajednička karakteristika posmatranih objekata, koji su deo stambenog fonda Beograda, je neracionalno velika potrošnja energije za grejanje. Specifična godišnja potrebna energija $Q_{H,an}$ kreće se od 138 kWh/m²a (zgrada 8) do 227 kWh/m²a (zgrada 3). Zbog karakteristika gradnje, nedostatka propisa o toplotnoj zaštiti objekata i ne preduzimanja koraka ka povećanju energetske efikasnosti, sve negativne posledice snose vlasnici stanova.

U periodu najveće stambene izgradnje kod nas, nisu postojali propisi koji bi regulisali toplotnu zaštitu zgrada. Ugradnja toplotne izolacije je bila stvar pojedinca. Prisustvo loših navika, nedovoljno proverenog iskustva, neznanja, niskog nivoa svesti o važnim pitanjima i nebrige, ne može obezbediti prosperitet ni u kojoj oblasti ljudske delatnosti. Razvoj zakonodavnog okruženja mora imati veliku ulogu u kontroli potrošnje energije.

Energetska kriza ukazala je na problem energije. Tema je postala zanimljiva najširim slojevima društva jer je postalo jasno da su raspoloživi resursi ograničeni. Ponekad je teško snaći se u velikom broju informacija. One su često nestručne i ne sagledavaju širi aspekt problema.

Alternative su tako izabrane, da rezultati proračuna termičkih karakteristika zgrada daju odgovore na ranije često postavljana pitanja. Da li su novi, kvalitetniji, prozori dovoljni za se potroši znatno manje energije za centralno grejanje? Da li je debljina toplotne izolacije 2 cm, 4 cm ili 5 cm dovoljna da se potrošnja goriva smanji za 50%? Koliko se isplati ulagati u toplotnu izolaciju objekata?

Bilo koja mera preduzeta u cilju uštede energije treba biti pozdravljena i podržana. Tehnička rešenja treba prilagoditi mogućnostima, odabrati rešenje koje će uz najmanje troškove omogućiti postizanje željenog cilja. Situacija traži akciju tako da je i najmanji pomak bolji je od držanja po strani. Drugo je pitanje koliko je ostvaren suštinski napredak u pravcu povećanja energetske efikasnosti zgrade.

Ugradnja zaptivnih traka na prozore zahteva minimalna ulaganja, ali može imati pozitivne efekte. Većina prozora, koji se i danas koriste, ugrađena je prilikom gradnje zgrade. Objekti su generalno slabo održavani, pa i prozori kao njihov integralni deo.

Prozori dominantno utiču na potrošnju energije u objektu. Zbir transmisionih i ventilacionih gubitaka prelazi 40% gotovo za sve alternative [21]. Slični podaci se mogu naći i u drugim dostupnim analizama. Razvojem više komornih ramova, kvalitetnih okova i nisko emisionog stakla, otvara se mogućnost štednje energije.

Promenom prozora na zgradama (alternativa A_2) ostvariće se ušteda u godišnje potrebnoj energiji za grejanje objekta $Q_{H,nd}$. Ugradnjom prozora kvaliteta 2 godišnja ušteda energije iznosi cca 3%. Nešto veće smanjenje, cca 4%, uočljivo je samo kod zgrada 7 i 8.

Preduzete mere energetske sanacije treba da poboljšaju toplotne karakteristike zgrade tako da se zadovolje zahtevi postavljeni u [55]. U ovom radu porede se vrednosti koeficijenta prolaza toplote za spoljni zid U sa U_{max} i visina dozvoljene maksimalne godišnje potrebne energije za grejanje. Ugradnjom 5 cm toplotne izolacije (alternativa A_3) ostvaruje se godišnja ušteda energije od 49% (zgrada 7), odnosno 41% (zgrada 1). Bez obzira na ostvareno smanjenje, predviđena izolacija nije dovoljna da zadovolji zahtevani koeficijent prolaza toplote U_{max} . Takođe, nije zadovoljen zahtev o visini dozvoljene maksimalne godišnje potrošnje energije za grejanje.

Ugradnjom 10 cm toplotne izolacije i prozora kvaliteta 2 (alternativa A_4) ostvaruje se smanjenje godišnje potrebne energije za cca 50%. Samo je za zgradu 1 ušteda 49%, za sve ostale je preko 50%, a najveća 57% za zgrade 7 i 9. Predviđene mere energetske sanacije ostvaruju respektabilnu uštedu energije i zadovoljavajuću vrednost koeficijenta prolaza toplote za spoljni zid U , ali vrednost maksimalne godišnje potrošnje energije za grejanje $Q_{H,an}$, zadovoljavajuća je samo za zgrade 7 i 8.

Prozor kvaliteta (3) i toplotna izolacija debljine 20 cm (alternativa A_5) ostvaruju smanjenje godišnje potrebne energije u intervalu od 67% do 73%, zavisi od zgrade. Koeficijent prolaza toplote za spoljni zid U znatno je manji od U_{max} . Predviđene mere energetske sanacije zadovoljavaju [55].

Prosečna vrednost ukupnih gubitaka toplote svedena na m^2 efektivne površine, za posmatrane objekte, iznosi 161 W/m^2 za alternativu A_1 , a 55 W/m^2 za alternativu A_5 . Predviđene mere energetske sanacije smanjuju potrebnu angažovanu snagu za preko 100 W/m^2 .

5.2 ENERGETSKA SANACIJA OBJEKATA

Svaka intervencija usmerena u pravcu smanjenja potrošnje energije i svih pozitivnih efekata koji su posledica tog koraka, povezana je sa određenim investicionim troškovima [8]. Oni se, u konkretnom slučaju, odnose na dve grupe troškova. Potrebno je na bazi cene zamene postojeće stolarije kvalitetnijom odrediti visinu tih troškova i cenu ugradnje toplotne izolacije na spoljni omotač zgrade.

Promena stolarije obuhvata trošak demontaže postojeće, nabavku i ugradnju nove. Cena stolarije zavisi od kvaliteta. Višekomorni okvir i prekinuti toplotni most, smanjuju transmisione i ventilacione gubitke kroz procepe. Staklo u više slojeva smanjuje transmisione gubitke, a nisko emisiono staklo tome dodaje i redukovanje gubitaka zračenjem. Problem nastaje kod izbora nivoa kvaliteta jer viši nivo podrazumeva i veću cenu. Jedinične cene promene stolarije prikazane su u tabeli 12 [21]. Kalkulisan je i minimalni trošak intervencije (red. br. 1) na postojećim prozorima za alternative A₁ i A₃. On se odnosi na ugradnju zaptivnih traka. Postoji mišljenje da je to minimum koji se "mora" primeniti s obzirom da ne zahteva veće novčane troškove.

Tabela 12. Cena promene stolarije (EUR/m²) [21]

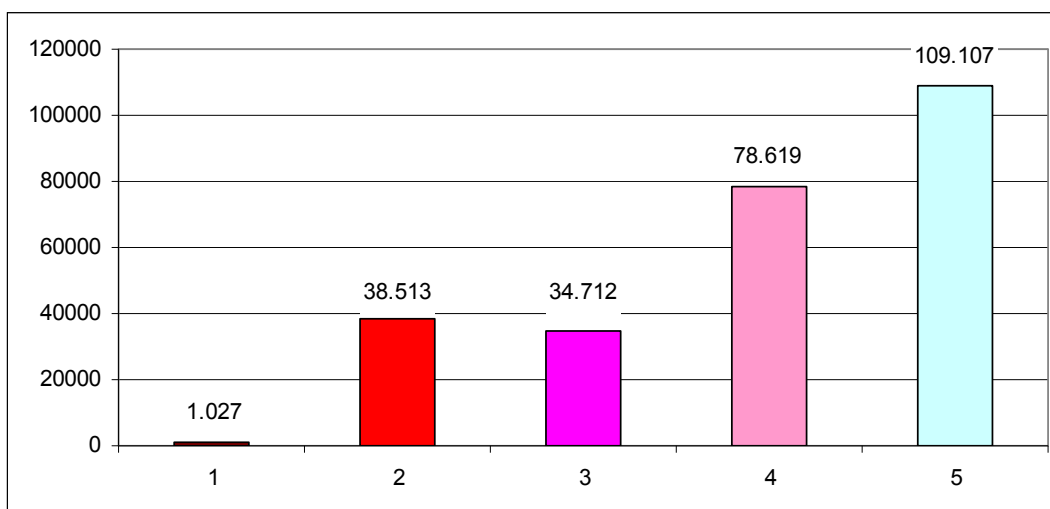
Red. br.	Kvalitet prozora U W/(m ² K)	Cena ugradnje EUR/m ²
1.	Zaptivne trake	4
2.	1,5	150
3.	1,1	200

Ugradnja toplotne izolacije na spoljni omotač, često je povezana sa raznim problemima: tehničkim, urbanističkim, estetskim i drugim. Značaj njenog postavljanja pokazuje podatak da gubici kroz spoljne zidove iznose više od 50% ukupnih gubitaka toplote [21]. Na cenu utiče kvalitet izabrane izolacije i složenost postavljanja. Ako su zahtevi stroži, veća je ukupna cena montaže. Jedinične cene ugradnje toplotne izolacije prikazane su u tabeli 13 [21].

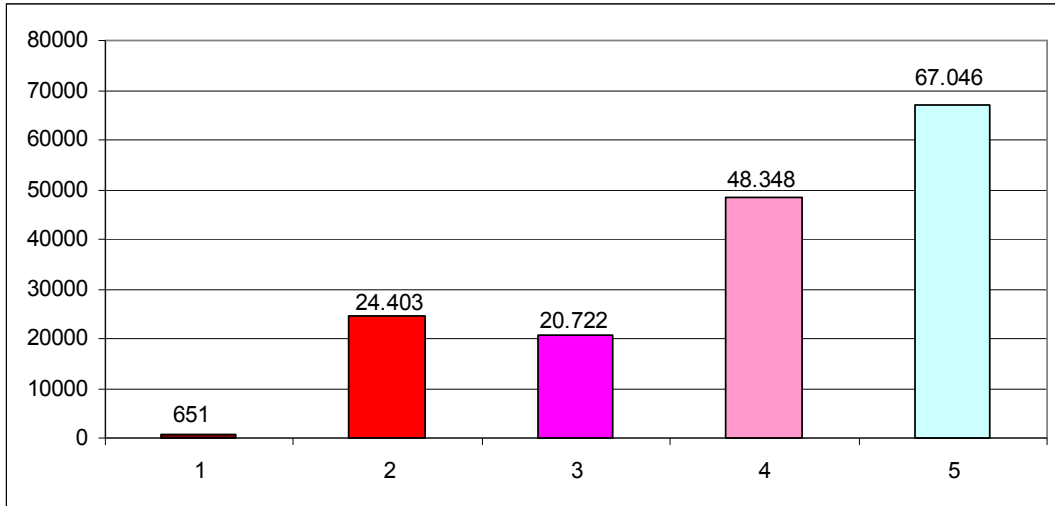
Tabela 13. Jedinične cene ugradnje toplotne izolacije (EUR/m²) [21]

Red. broj	Debljina izolacije cm	Pozicija ugradnje	
		zid EUR/m ²	tavan/pod EUR/m ²
1.	5	15	12
2.	10	18	14
3.	20	26	20

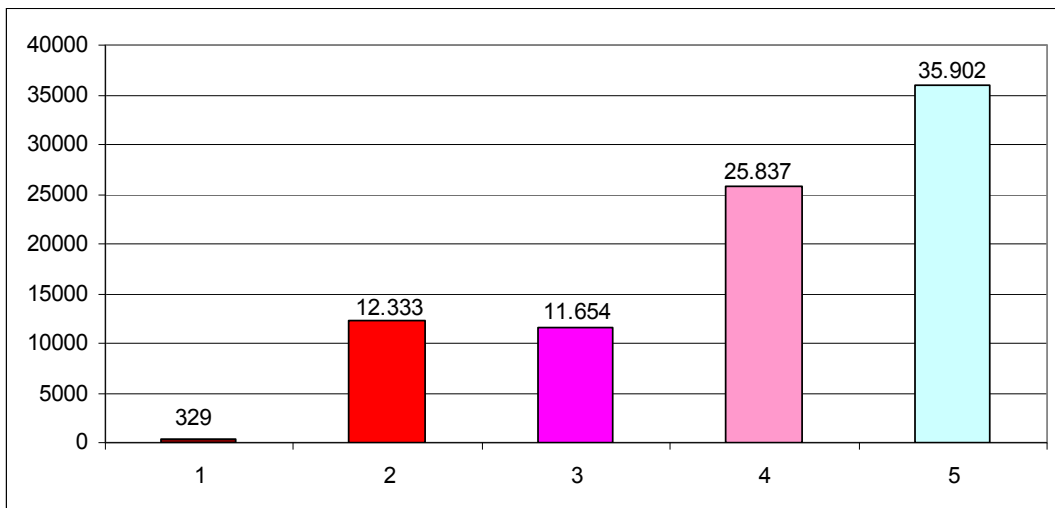
Rezultati proračuna troška energetske sanacije zgrada, (EUR) po alternativama, prikazani su na dijagramima koji slede od sl. 24. do sl. 33.



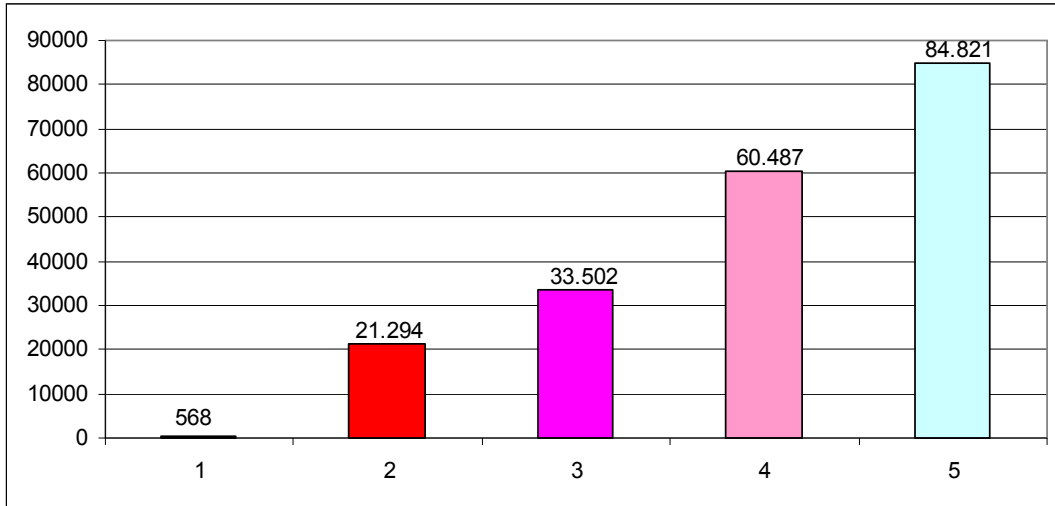
Slika 24. Trošak energetske sanacije zgrade br. 1 (EUR) po alternativama



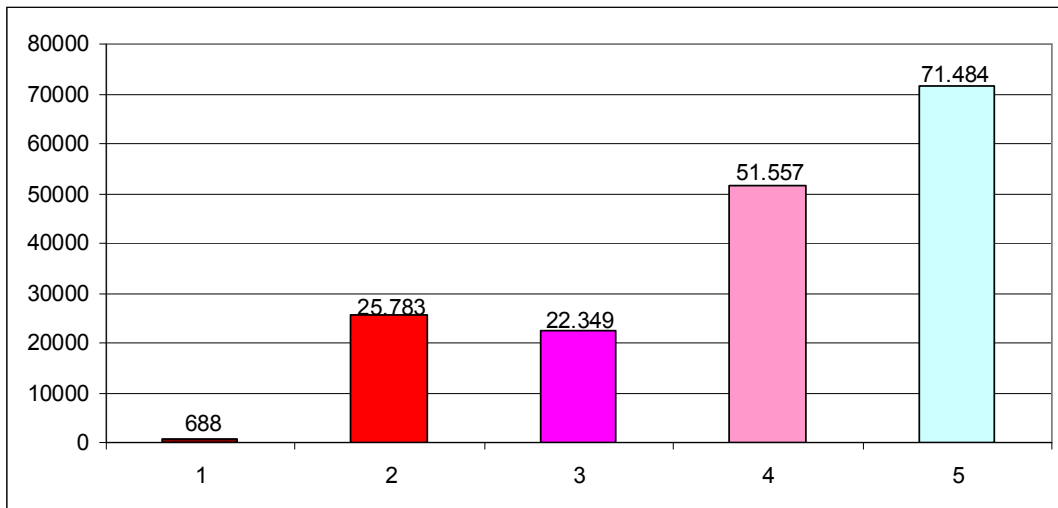
Slika 25. Trošak energetske sanacije zgrade br. 2 (EUR) po alternativama



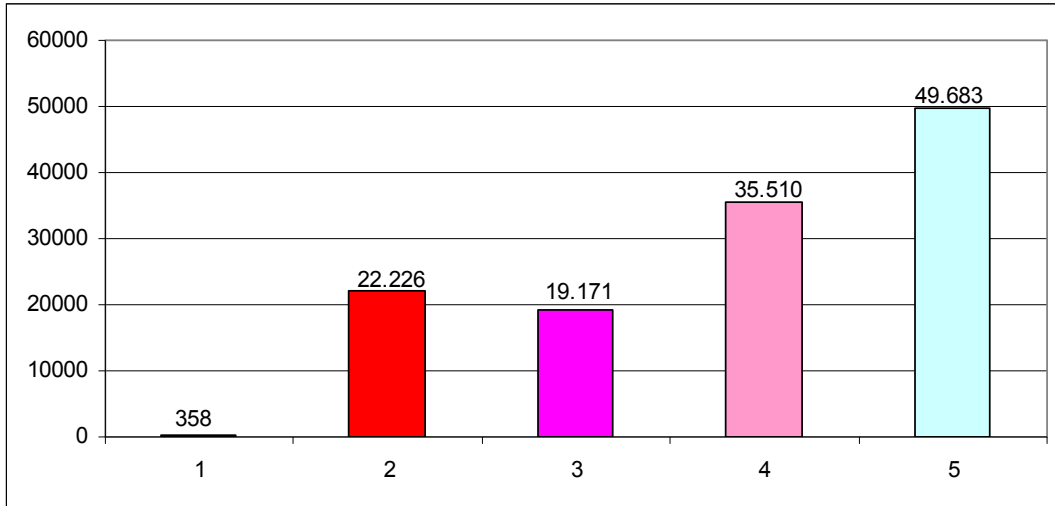
Slika 26. Trošak energetske sanacije zgrade br. 3 (EUR) po alternativama



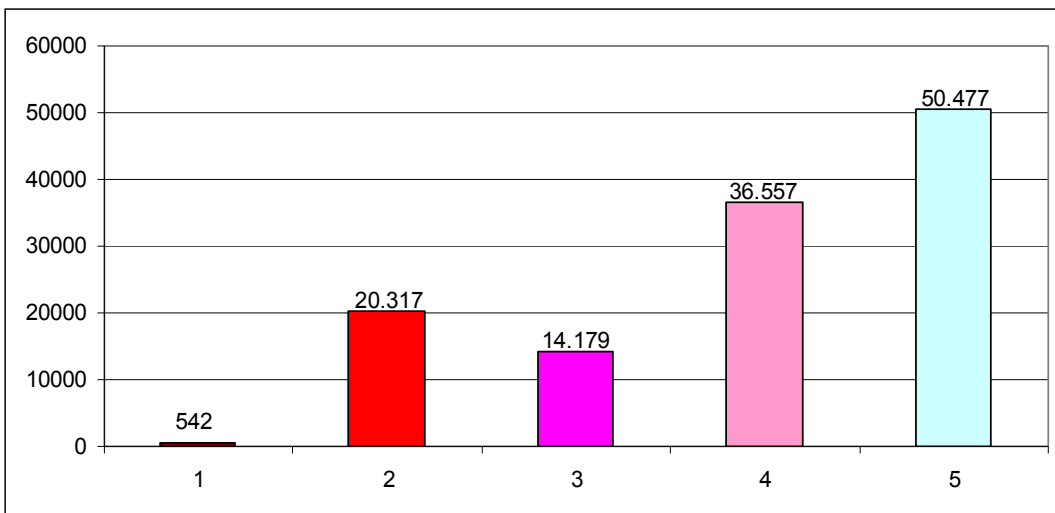
Slika 27. Trošak energetske sanacije zgrade br. 4 (EUR) po alternativama



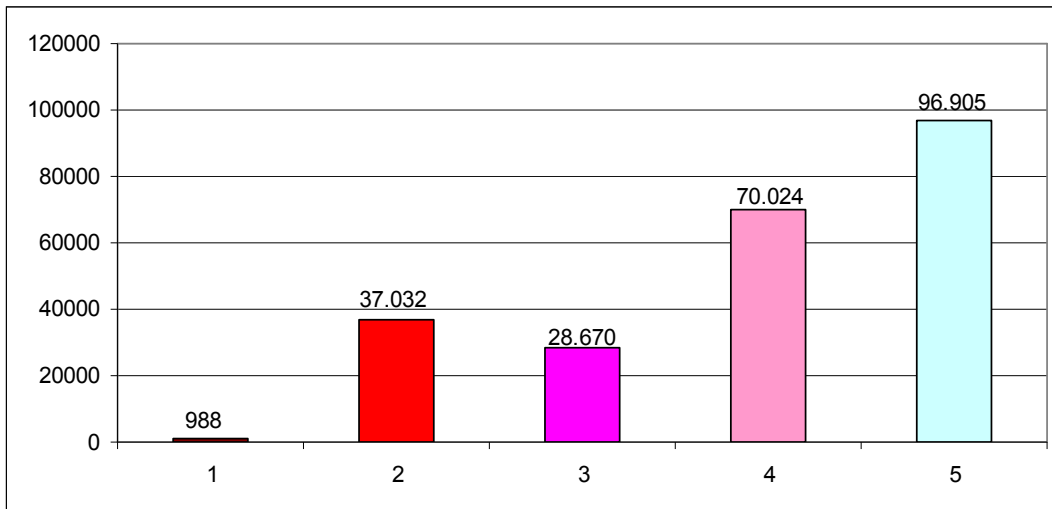
Slika 28. Trošak energetske sanacije zgrade br. 5 (EUR) po alternativama



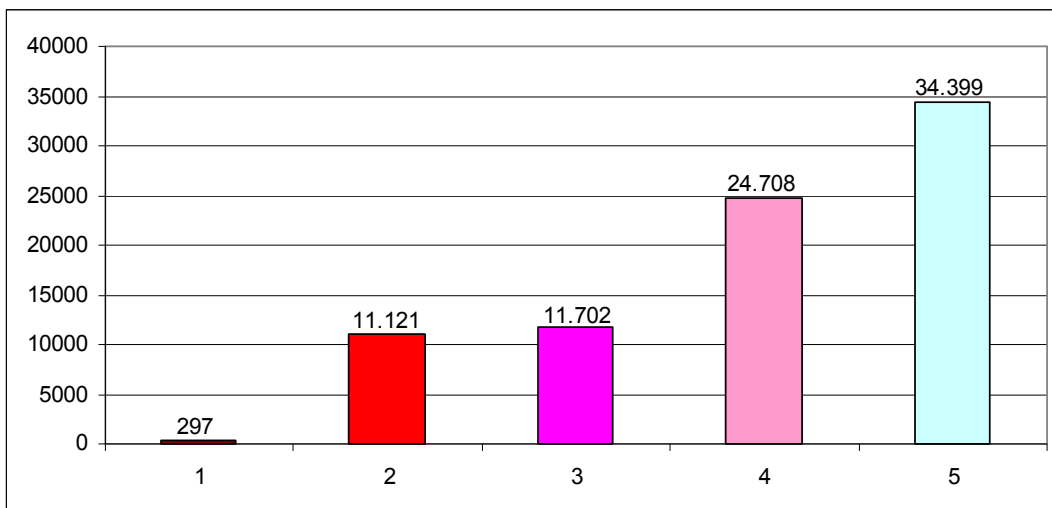
Slika 29. Trošak energetske sanacije zgrade br. 6 (EUR) po alternativama



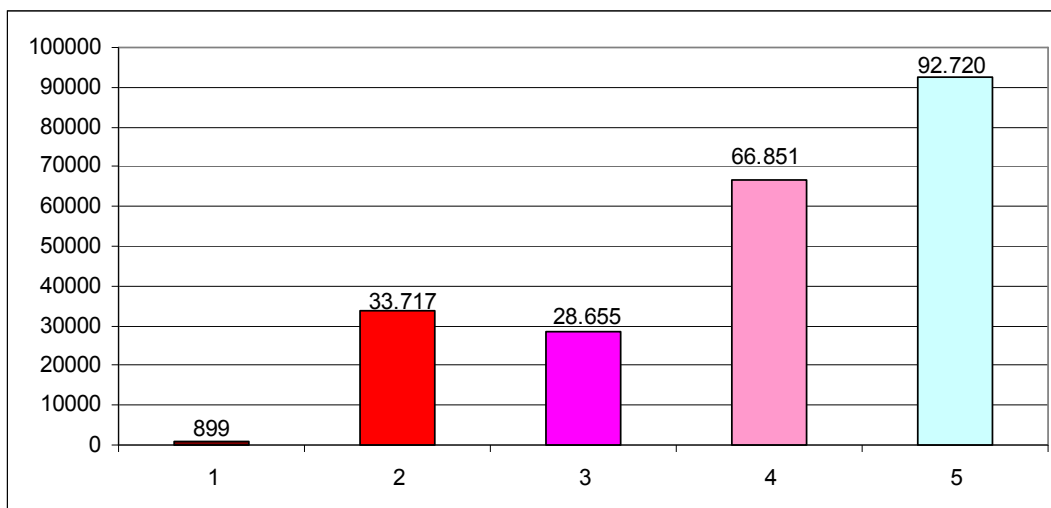
Slika 30. Trošak energetske sanacije zgrade br. 7 (EUR) po alternativama



Slika 31. Trošak energetske sanacije zgrade br. 8 (EUR) po alternativama



Slika 32. Trošak energetske sanacije zgrade br. 9 (EUR) po alternativama



Slika 33. Trošak energetske sanacije zgrade br. 10 (EUR) po alternativama

Energetska sanacija objekata je aktivnost čijom realizacijom ostvarujemo glavne ciljeve povećanja energetske efikasnosti zgrada [4]. Ako je cilj poboljšanje energetskih svojstava zgrade, teži se maksimalnoj izolaciji i najboljem kvalitetu prozora. Problem nastaje kada se sanacija realizuje u uslovima ograničenih resursa. Upravo je višekriterijumska optimizacija jedan od pristupa rešavanju takvih problema.

Kod većine objekata skuplja je zamena prozora od ugradnje toplotne izolacije (debljine 5 cm) na spoljni omotač zgrade. Kod objekta 4 rezultati su drugačiji. Razlika je nastala zato što je kod pomenute zgrade odnos površine prozora i efektivne površine poda manji od 1/7.

S druge strane, efekti uštede energije ostvareni kao posledica te dve aktivnosti znatno su povoljniji kod ugradnje toplotne izolacije. Prosečno smanjenje godišnje potrebne energije za alternativu 3 je 45% u odnosu na alternativu 1, a taj odnos za alternativu 2 iznosi 3%.

Alternative 4 i 5 zahtevaju viši nivo troškova, ali su i pozitivni efekti njihove primene znatno izraženiji. Prosečno smanjenje godišnje potrebne energije za alternativu 4 iznosi 53%, a za alternativu 5 je 70%.

Problem se komplikuje kada je potrebno energetske sanirati objekte koji su zaštićeni zbog svoje arhitektonske, istorijske, ili ambijentalne vrednosti. U takvim slučajevima radi se analiza svakog objekta jer je on poseban slučaj. Takvi objekti nisu obrađeni u okviru ovog rada, jer ih je znatno manje u odnosu na zgrade koje su predmet analize.

Bilo bi teško doneti odluku samo na bazi ovog kriterijuma. Problem treba šire posmatrati, dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično, ili potpuno konfliktni.

Trošak energetske sanacije zgrada nije pogodan pokazatelj za korišćenje u postupku višekriterijumske optimizacije. S obzirom da se radi o trošku, kriterijumska funkcija bi trebalo da ima zahtev za minimumom. S druge strane, viši nivo energetske sanacije podrazumeva veću energetske efikasnost zgrada sa svim pozitivnim efektima. Potreba da se uvede kriterijum koji u sebi inkorporira pokazatelje kao što su ušteda godišnje potrebne energije za grejanje zgrada i trošak predviđenih mera energetske sanacije, koje su uzrokovale tu uštedu, dovela je do koeficijenta energetske sanacije, kao relativnog pokazatelja odnosa veličina koje su relevantne za energetske sanaciju. Koeficijent nam pokazuje koliko je uštedeno energije po svakoj uloženoj novčanoj jedinici. Odnosno, veći koeficijent kazuje da je ostvarena veća relativna ušteda energije.

$$k_{ES} = \frac{Q_1 - Q_i}{T_i} \quad (\text{kWh}/(\text{aEUR})) \quad (17)$$

- k_{ES} (kWh/(aEUR)) - koeficijent energetske sanacije
- Q_1 (kWh/a) - godišnje potrebna energija za grejanje zgrade za alternativu 1
- Q_i (kWh/a) - godišnje potrebna energija za grejanje zgrade za i-tu alternativu
- T_i (EUR) - ukupni trošak energetske sanacije za i-tu alternativu

U tabeli 14. prikazane su vrednosti godišnje potrebne energije za grejanje zgrade (kWh/a), troškova energetske sanacije (EUR) i vrednost koeficijenata energetske sanacije po alternativama za sve posmatrane objekte.

Tabela 14. Koeficijent energetske sanacije (kWh/(aEUR))

Objekat	Alternative	Godišnje potrebna energija	Trošak energetske sanacije	Koeficijen energetske sanacije
		kWh/a	EUR	kWh/(aEUR)
1	A1	235.866	1.027	0,00
	A2	227.859	38.513	0,21
	A3	138.311	34.712	2,81
	A4	121.192	78.619	1,46
	A5	71.048	109.107	1,51
2	A1	155.192	651	0,00
	A2	149.859	24.403	0,22
	A3	84.936	20.722	3,39
	A4	72.131	48.348	1,72
	A5	46.365	67.046	1,62
3	A1	93.704	329	0,00
	A2	91.084	12.333	0,21
	A3	49.505	11.654	3,79
	A4	41.344	25.837	2,03
	A5	25.199	35.902	1,91
4	A1	244.237	568	0,00
	A2	239.810	21.294	0,21
	A3	141.279	33.502	3,07
	A4	119.281	60.487	2,07
	A5	80.701	84.821	1,93
5	A1	189.938	688	0,00
	A2	184.382	25.783	0,22
	A3	109.651	22.349	3,59
	A4	94.575	51.557	1,85
	A5	63.238	71.484	1,77
6	A1	148.755	358	0,00
	A2	144.033	22.226	0,21

	A3	82.346	19.171	3,46
	A4	68.319	35.510	2,27
	A5	47.030	49.683	2,05
7	A1	96.886	542	0,00
	A2	92.570	20.317	0,21
	A3	49.111	14.179	3,37
	A4	41.362	36.557	1,52
	A5	26.735	50.477	1,39
8	A1	210.285	988	0,00
	A2	202.418	37.032	0,21
	A3	111.617	28.670	3,44
	A4	95.416	70.024	1,64
	A5	63.901	96.905	1,51
9	A1	82.872	297	0,00
	A2	80.476	11.121	0,22
	A3	43.224	11.702	3,39
	A4	35.366	24.708	1,92
	A5	23.402	34.399	1,73
10	A1	223.849	899	0,00
	A2	216.686	33.717	0,21
	A3	124.332	28.655	3,47
	A4	108.778	66.851	1,72
	A5	72.358	92.720	1,63

Relativni pokazatelj k_{ES} raste kada je veća razlika godišnje potrebne energije između alternative A_1 i posmatrane i -te alternative. S druge strane, rast koeficijenta usporava visina ukupnog troška energetske sanacije.

Najveći k_{ES} , odnosno pozitivan efekat odnosa ostvarene uštede godišnje potrebne energije i uloženi sredstva za energetske sanacije, uočljiv je kod alternative A_3 , kod svih posmatranih objekata. To je alternativa kod koje se ostvaruju značajni pozitivni efekti smanjenja godišnje potrebne energije uz relativno mali trošak. Drugo je pitanje da li su ostvareni pozitivni efekti, na taj način, dovoljni da zadovolje i drugi kriterijumi [55].

Druga po rangju je alternativa A_4 jer zauzima drugu poziciju kod devet zgrada. Alternativa A_5 je treća po rangju, a zauzima drugu poziciju samo kod zgrade 1. Koeficijent, k_{ES} , za alternativu A_2 je manji od jedan za sve posmatrane zgrade i ukazuje na činjenicu da je za tu alternativu najnepovoljniji odnos uštede energije i uloženih sredstava za energetske sanaciju.

Smatra se da je koeficijent energetske sanacije primenljiv za metodu rangiranja jer adekvatnije ponderiše, odnosno težinski kvantifikuje pojedine uticajne elemente, nego što to čini samo trošak vezan za tu aktivnost.

Kada se vrednost troška energetske sanacije svede na efektivnu površinu poda, dobijamo prosečnu vrednost pomenutog troška. Podatak se može dalje koristiti za analize drugih zgrada. Prosečna vrednost troška za alternativu A_5 se kreće, po zgradama, od 55 EUR/m² (zgrada 6) do 87 EUR/m² (zgrada 3). Prosečna vrednost na nivou svih posmatranih zgrada iznosi 73,9 EUR/m².

5.3 TROŠAK NABAVKE I UGRADNJE OPREME ZA CENTRALNO GREJANJE

Energetska sanacija zgrada smanjuje potrebu za toplotnom energijom, a time utiče na visinu investicionih troškova za uvođenja centralnog grejanja. Ovi troškovi mogu se podeliti u dve osnovne grupe:

- troškovi instaliranja opreme za centralno grejanje u objektu
- troškovi priključenja na sistem "Beogradskih elektrana"

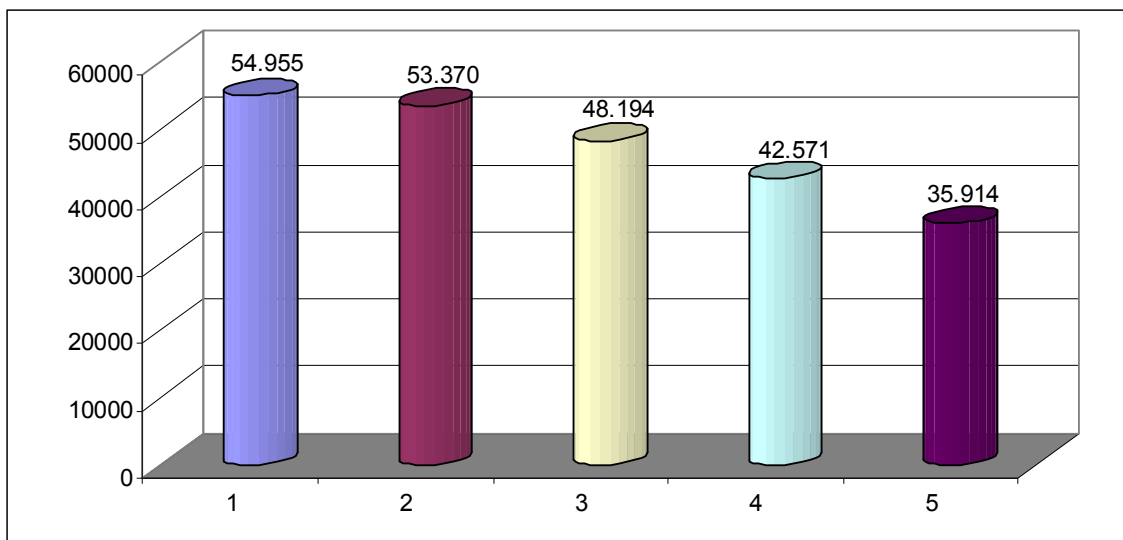
Troškovi instaliranja opreme za centralno grejanje u objektu obuhvataju izradu projektne dokumentacije centralnog grejanja zgrade i finansiranje nabavke i ugradnje specifikirane opreme po tom projektu. Korisnik usluge mora obezbediti građevinski prostor površine 12 m² za smeštaj opreme podstanice. Toplotni izvor je kompletiran, u tehnološkom smislu, kada se isporuči i montira oprema koja je obaveza "Beogradskih elektrana" (spojni toplovod i primarni deo podstanice) i oprema koja je obaveza korisnika usluge (sekundarni deo podstanice).

Specifikacija opreme za centralno grejanje objekta podeljena je u tri celine: oprema sekundarnog dela podstanice, zajednička instalacija u stepeništu objekta i unutrašnja instalacija stanova. Oprema sekundarnog dela podstanice obuhvata cirkulacione pumpe, ekspanzioni sistem sa sigurnosnim ventilima, zapornu i regulacionu armaturu, cevovod sa izolacijom i elektro radove. Zajednička instalacija u stepeništu objekta obuhvata isporuku i montažu čeličnog cevovoda od podstanice do potrošača na poslednjoj etaži objekta, izradu priključaka za svaki stan i izolaciju kompletnog cevovoda. Unutrašnja instalacija stanova obuhvata cevni razvod, grejna tela sa spojnima i regulacionom armaturom.

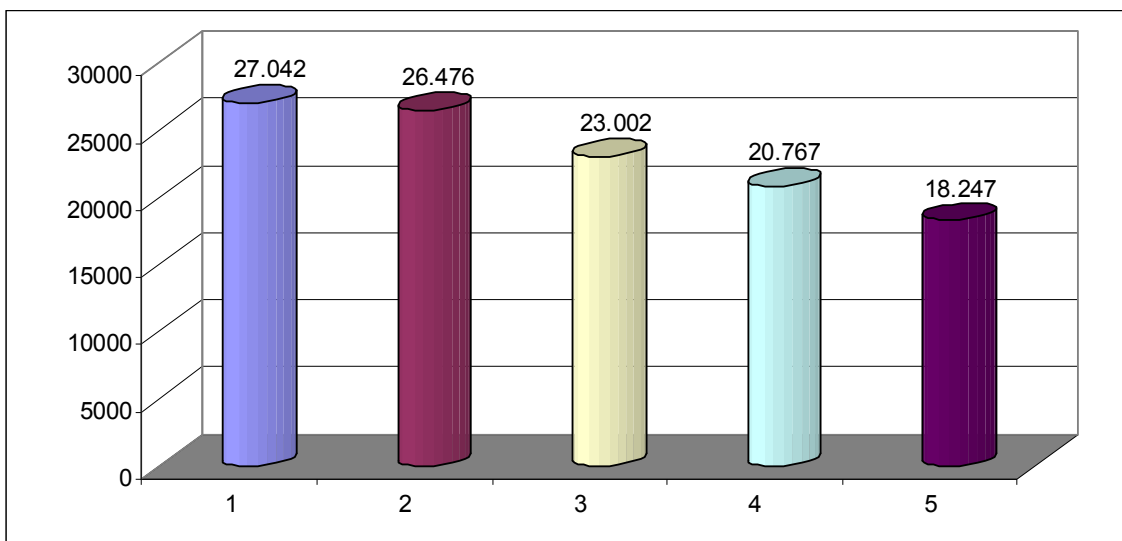
Za potrebe ovog rada korišćena je specifikacija opreme za centralno grejanje analiziranih objekata [21]. Trošak nabavke i ugradnje rađen je za svaki od analiziranih objekata, za svaku alternativu, odnosno varijantu energetske sanacije. Promena cene unutrašnje instalacije stanova preciznije je pratila promenu izračunatih toplotnih gubitaka zgrade. Menjao se broj članaka grejnih tela, dimenzija cevovoda i broj grejnih tela. Trošak za toplotnu podstanicu i zajedničku instalaciju u stepeništu, ne može linearno pratiti promenu gubitaka toplote. Cevovod i druga industrijska oprema mogu se naći na tržištu u standardnim veličinama.

U okviru toplotne podstanice predviđen je trošak za izvođenje građevinskih radova. Korisnik usluge ima obavezu da obezbedi građevinski prostor za smeštaj opreme na osnovu dela zajedničkog prostora u podrumu objekta. Taj prostor je potrebno adaptirati u skladu sa tehničkim uslovima distributera tople vode.

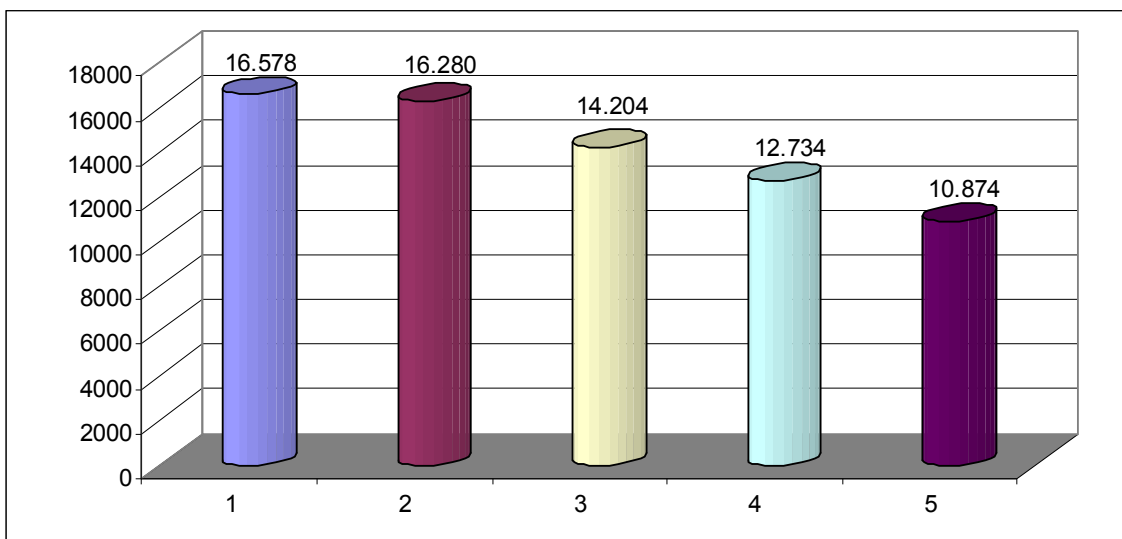
Rezultati proračuna troška nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje zgrada, (EUR) po alternativama, prikazani su na dijagramima koji slede sl. 34. do sl. 43.



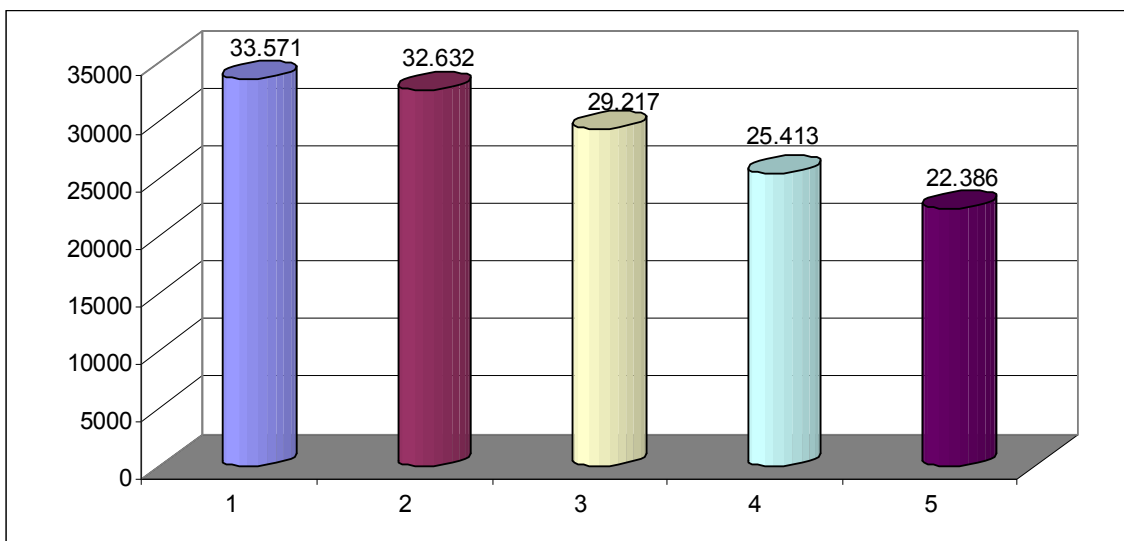
Slika 34. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 1 (EUR) po alternativama



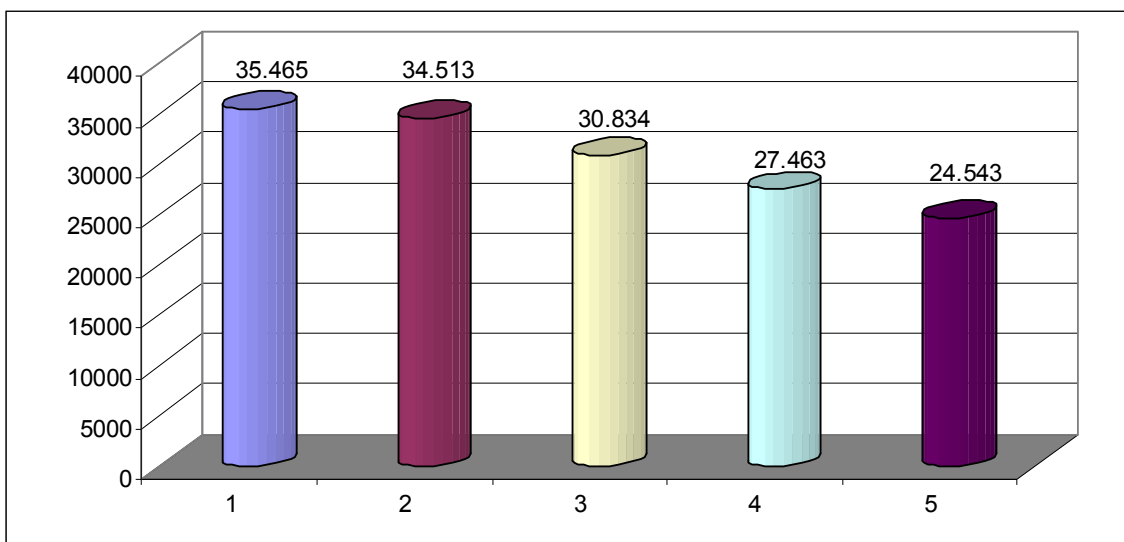
Slika 35. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 2 (EUR) po alternativama



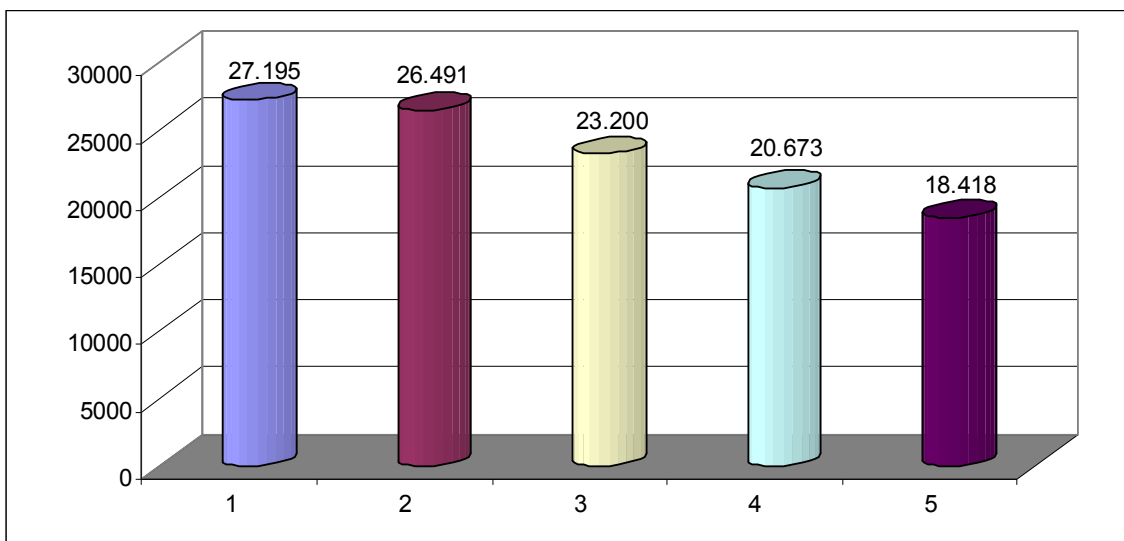
Slika 36. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 3 (EUR) po alternativama



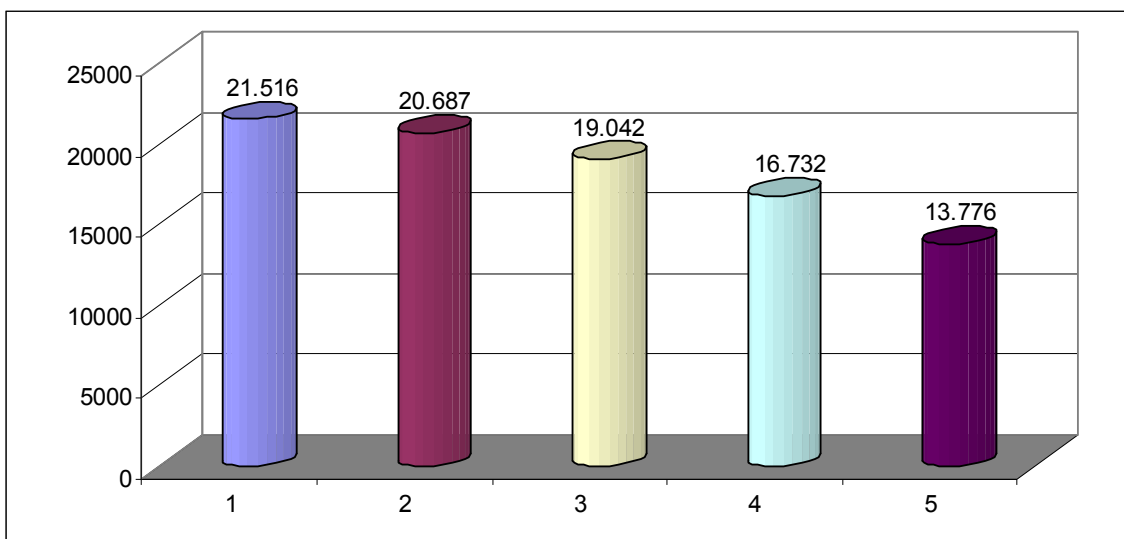
Slika 37. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 4 (EUR) po alternativama



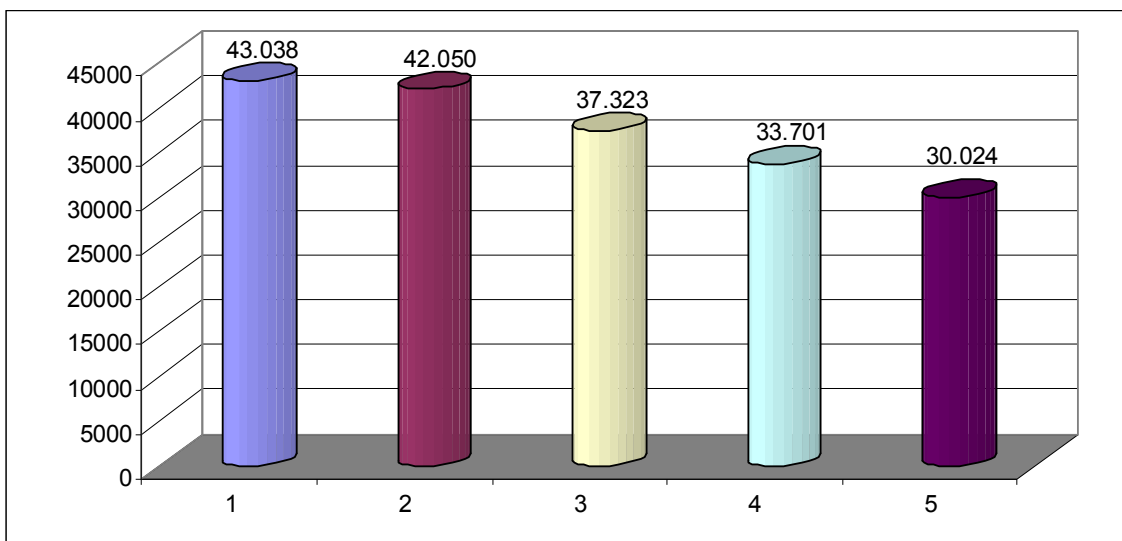
Slika 38. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 5 (EUR) po alternativama



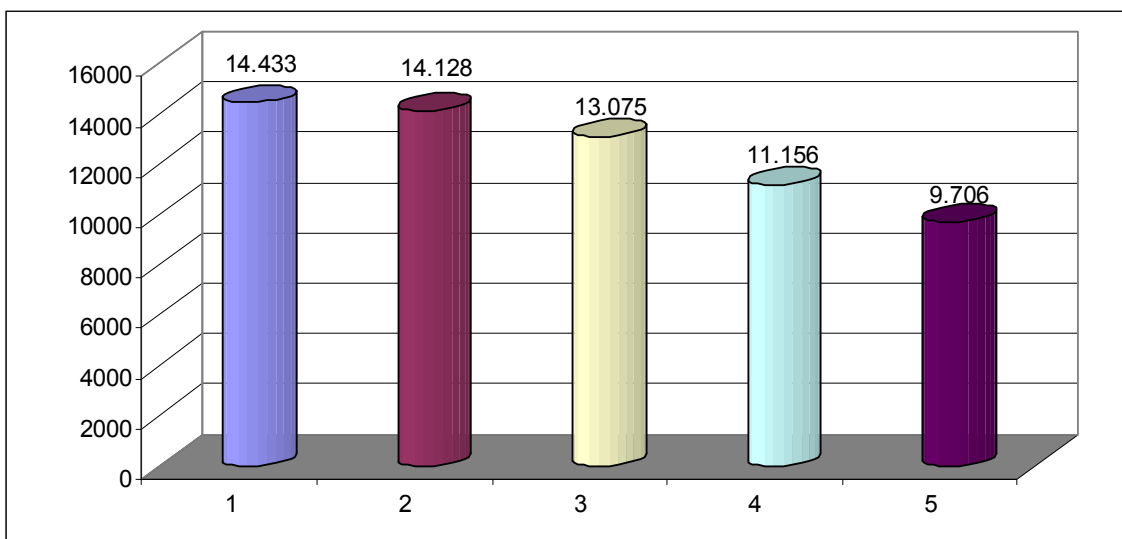
Slika 39. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 6 (EUR) po alternativama



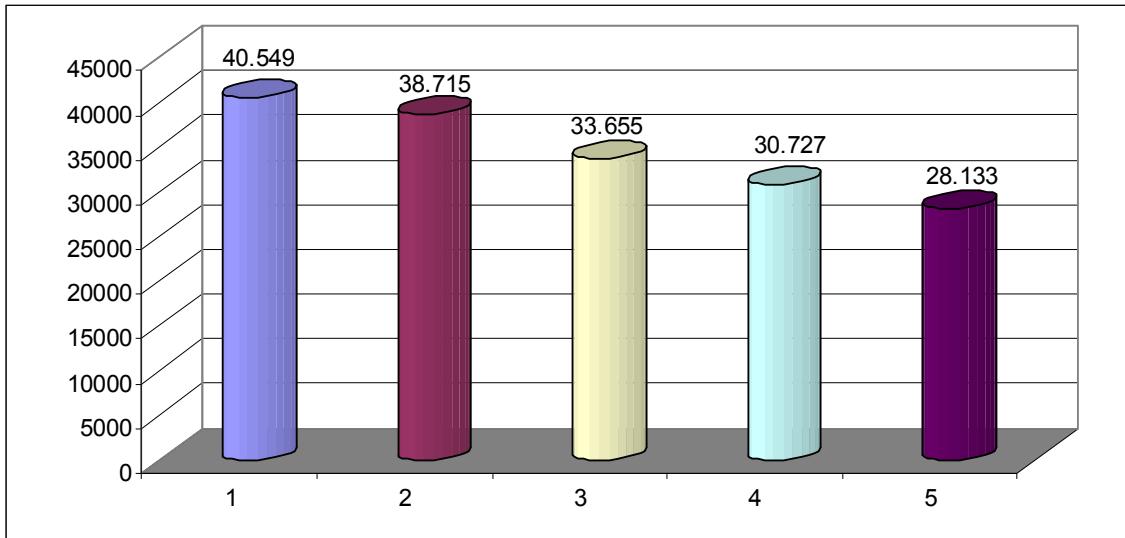
Slika 40. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 7 (EUR) po alternativama



Slika 41. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 8 (EUR) po alternativama



Slika 42. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 9 (EUR) po alternativama



Slika 43. Trošak opreme za centralno grejanje zgrade br. 10 (EUR) po alternativama

Kretanje troška opreme za centralno grejanje objekta prati kretanje ukupnih gubitaka toplote, ali ta veza nije linearna. Primećuje se da je pad vrednosti troška opreme blaži. Postoji više razloga koji objašnjavaju ovu činjenicu.

Deo troškova je fiksni, ne zavisi od promene potrebne energije za grejanje objekta. To se prvenstveno odnosi na građevinske radove potrebne da se prostor podstanice uredi u skladu sa tehničkim uslovima distributera. Elektro oprema je uglavnom ista bez obzira na instaliranu snagu podstanice. Postoji razlika u vrednosti napojnog kabla i elektromotornog razvoda, ali je ona neznatna.

Prilikom kalkulisanja vrednosti unutrašnje instalacije stanova predviđeni su radijatorski ventili sa termo glavom. Kvalitetnija izolacija podrazumeva smanjenu potrebu za energijom po pojedinim prostorijama. Zbog smanjenog broja rebara pada vrednost grejnog tela, ali vrednost radijatorskog ventila je ista i raste njegovo procentualno učešće u ceni radijatora.

Dimenzije cevovoda i opreme za toplotnu podstanicu ne mogu linearno pratiti promenu potrebnog protoka. Industrijska oprema može se naći na tržištu u standardnim veličinama. Odabir dimenzija cevovoda i druge opreme, rađen je na osnovu projektantskog iskustva.

Predviđene mere energetske sanacije smanjuju visinu troška opreme za centralno grejanje. Najmanja ušteda se ostvaruje kod alternative A₂, a najveća kod alternative A₅. Ukupno smanjenje visine ulaganja u opremu razlikuje se od objekta do objekta. Ono se kreće oko 3% za alternativu A₂, a za alternativu A₅ od 30% do 35%. Procentualno smanjenje visine troška opreme za centralno grejanje veće je za alternative koje imaju manju potrebu za energijom. Slična je situacija kod svih posmatranih objekata tako da razlika između pojedinih zgrada nije veća od 5% u okviru jedne alternative.

Mnogo je veća razlika između zgrada kada se posmatra prosečna vrednost troška opreme za centralno grejanje, za alternativu A₁, iznosi 33,5 EUR/m², a kreće se u intervalu od 28 EUR/m² do 40 EUR/m². Prosečna vrednost za alternativu A₅, iznosi 22,6 EUR/m², a kreće se u intervalu od 19 EUR/m² do 26 EUR/m². Ovo je posledica karakteristika zgrade odnosno činjenice da se razlikuju po svojoj orijentaciji, faktoru oblika, projektnom rešenju, odnosu površine prozora i površine poda i slično, a sve ovo utiče na toplotne gubitke, potrošnju energije za centralno grejanje i visinu investicije za opremu. Različite karakteristike zgrada pokazuju da su odabrani objekti koji adekvatno reprezentuju deo stambenog fonda Beograda i Srbije.

Trošak opreme za centralno grejanje se pojavljuje jednokratno na početku životnog veka projekta.

5.4 TROŠAK PRIKLJUČENJA OBJEKATA NA SISTEM "BEOGRADSKIH ELEKTRANA"

Posmatrani objekti su priključeni na sistem "Beogradskih elektrana" u okviru programa priključenja 21.000 stanova. Ukupna instalirana snaga "Beogradskih elektrana" je 2.574 MW. Proizvodnja toplotne energije obavlja se iz 64 toplotna izvora. Distribucija toplotne energije realizuje se preko toplovodne mreže. Ona predstavlja sistem cevovoda, dužina trase 600 km i merno regulacionih uređaja koji povezuju toplotni izvor i krajnjeg korisnika [37].

Za proizvodnju toplotne energije koristi se prirodni gas (82 %), teško ulje za loženje - mazut (17 %), ugalj (oko 0,4 %), lož ulje (0,1 %) i biomasa - peleti (0,2 %) i briketi (0,3 %). Proizvodni pogoni "Beogradskih elektrana" godišnje prosečno potroše nešto više od 300.000.000 Sm³ gasa, oko 50.000 tona mazuta, 3.000 tona uglja, 236.000 litara lož ulja, 2.000 tona peleta i 2.500 tona briketa. Sagorevajući pomenute količine energenata, prosečno godišnje omogući proizvodnju više od 3.000.000 MWh toplotne energije [37].

"Beogradske elektrane" preko toplovodne mreže i predajnih podstanica greju oko 300.000 stanova, što predstavlja gotovo polovinu stambenog fonda Beograda. Snabdevaju toplotnom energijom 21 milion m² stambenog i poslovnog prostora. Ukupno se greje 16.527.590 m² stambenog prostora [37].

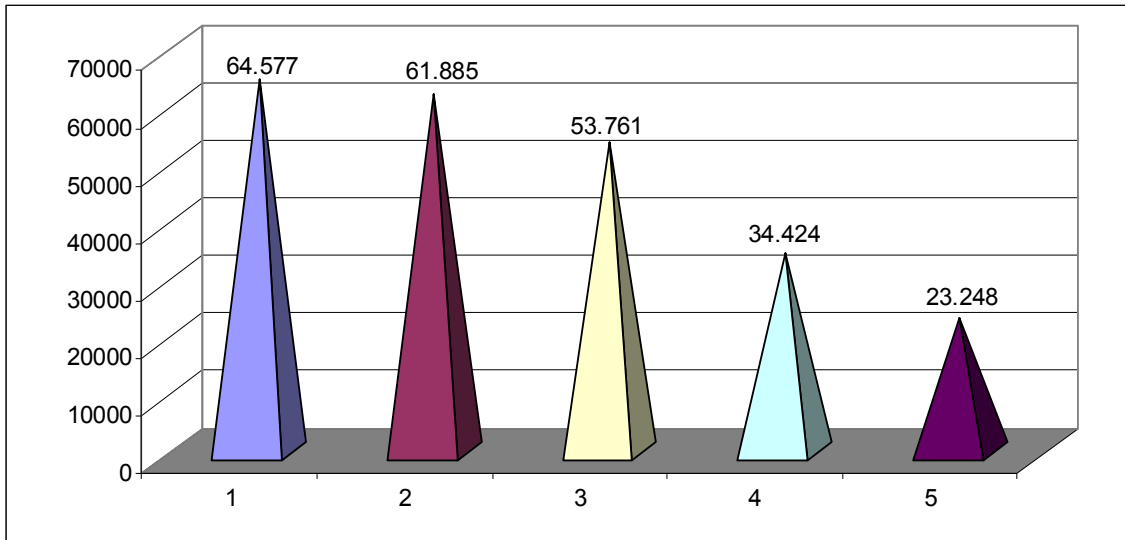
"Beogradske elektrane" projektuju, izvode spojni toplovod i prijemni (primarni) deo toplotne podstanice. Trošak priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana" zavisi od instalirane snage objekta. To je pomak napred u politici cena ovog komunalnog preduzeća jer se cena priključka ranije određivala na osnovu korisne površine objekta. Na ovaj način se stimuliše energetska sanacija zgrada.

Trošak priključenja objekata na sistem "Beogradskih elektrana" računat je na osnovu toplotnih gubitaka za svaki od objekata, po alternativama. Tabela sa cenama [38] prikazuje parametre na osnovu kojih je formirana cena priključenja. Deo tih podataka je prikazan u tabeli 15: instalirana snaga objekta, kapacitet izmenjivača toplote (kW) i cene za dužine odgovarajućeg toplovoda (10 m, 20 m ili 30 m). Postoji razlika između toplotnih gubitaka i instalirane snage objekta. S obzirom da se radi o razlici od nekoliko procenata, smatra se da urađena aproksimacija ne utiče bitno na suštinu prikaza tretirane problematike.

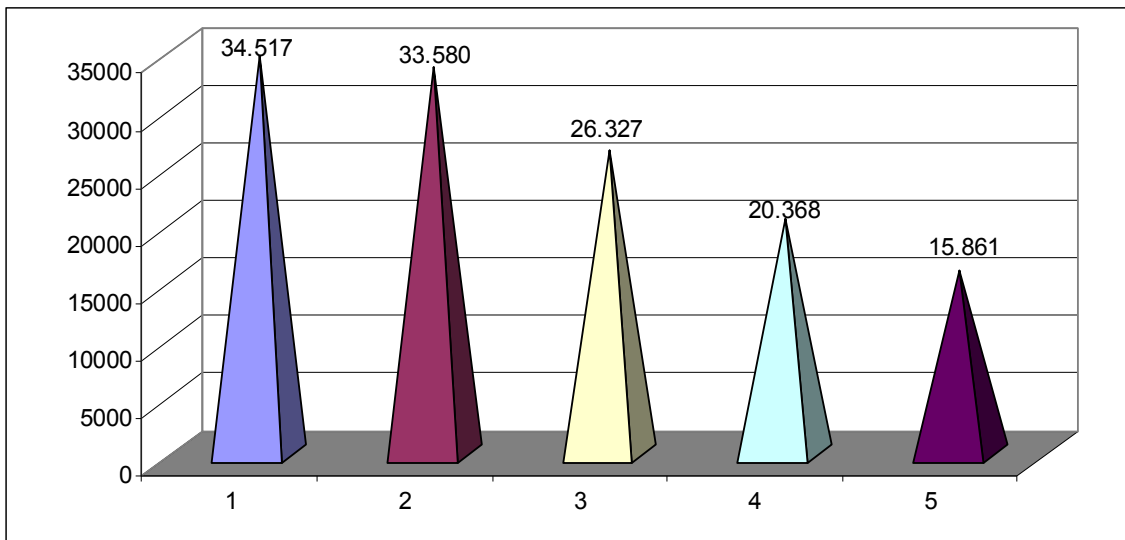
Trošak priključenja zgrade na sistem "Beogradskih elektrana" dobijen je interpolacijom vrednosti iz tabele 15. Rezultati proračuna troška priključenja, (EUR) po alternativama, prikazani su na dijagramima koji slede sl. 44. do sl. 53.

Tabela 15. Cena priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" (dinara) [38]

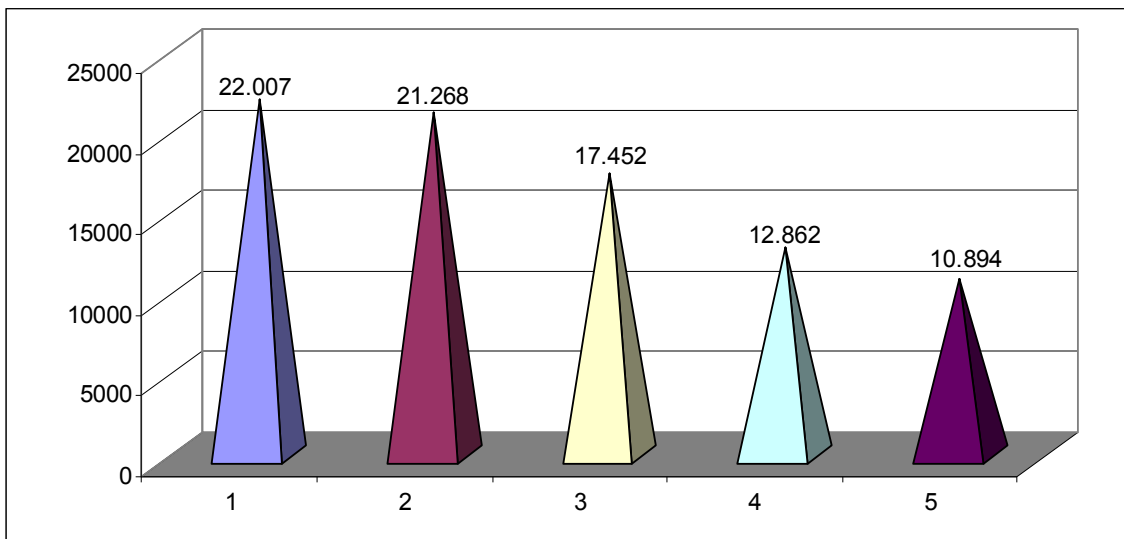
R. br.	Instal. snaga	Naz. preč. toplovoda	Kapacit. izmenj.	Trošak priključ. L=10m	Trošak priključ. L=20m	Trošak priključ. L=30m
	kW	mm	kW	din.	din.	din.
1	16	40	50	960.322	1.252.109	1.543.896
2	32	40	50	1.300.162	1.591.949	1.883.736
3	48	40	50	1.640.002	1.931.789	2.223.576
4	64	40	70	1.983.467	2.275.254	2.567.042
5	80	40	100	2.328.141	2.619.928	2.911.715
6	96	40	100	2.667.981	2.959.768	3.251.555
7	112	40	150	3.031.990	3.323.777	3.615.564
8	128	40	150	3.371.830	3.663.617	3.955.404
9	144	40	150	3.711.670	4.003.457	4.295.244
10	160	50	200	4.078.043	4.384.279	4.690.515
11	176	50	200	4.417.883	4.724.119	5.030.35
12	192	50	200	4.757.723	5.063.959	5.370.195
13	208	50	250	5.160.402	5.466.638	5.772.874
14	224	50	250	5.500.242	5.806.478	6.112.714
15	240	50	250	5.840.082	6.146.318	6.452.554
16	256	50	300	6.182.339	6.488.575	6.794.811
17	272	50	300	6.522.179	6.828.415	7.134.651



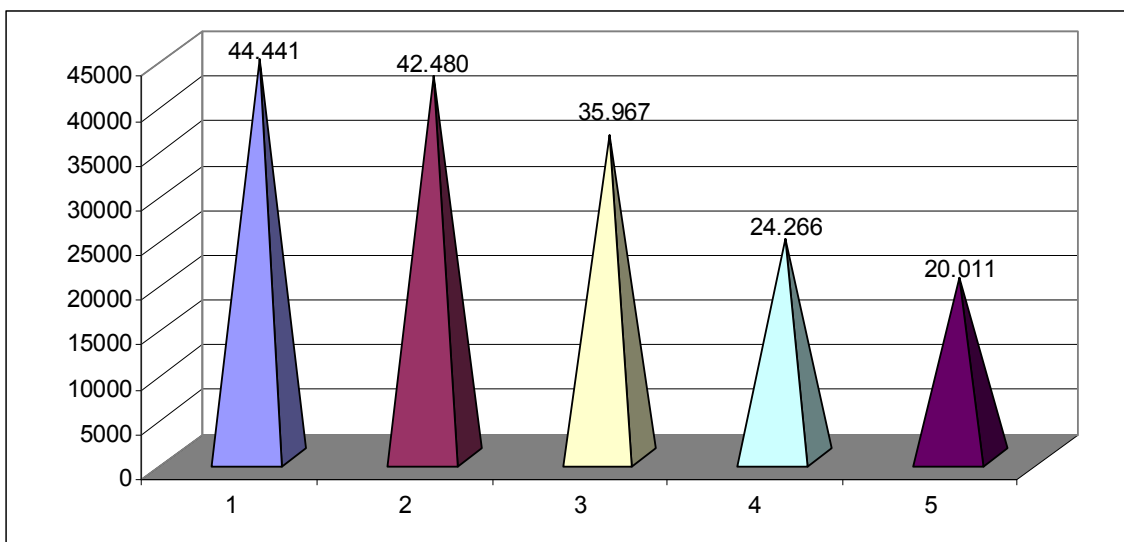
Slika 44. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 1 (EUR) po alternativama



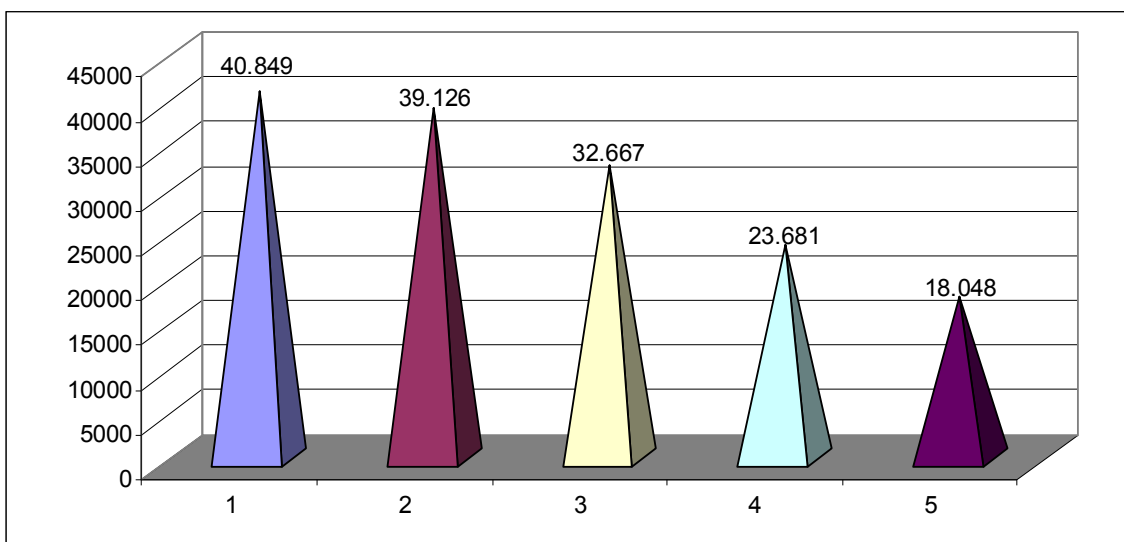
Slika 45. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 2 (EUR) po alternativama



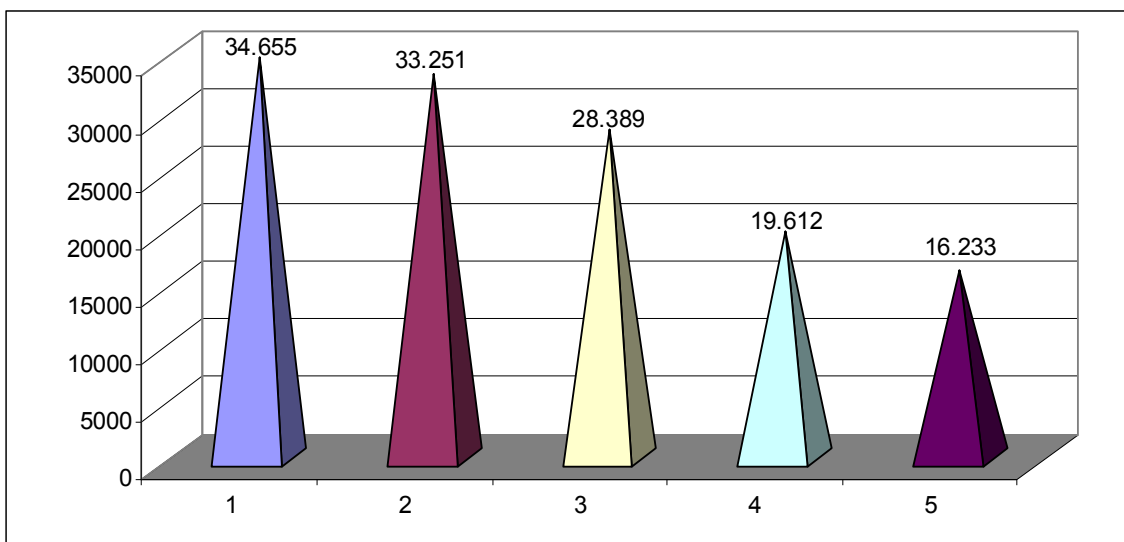
Slika 46. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 3 (EUR) po alternativama



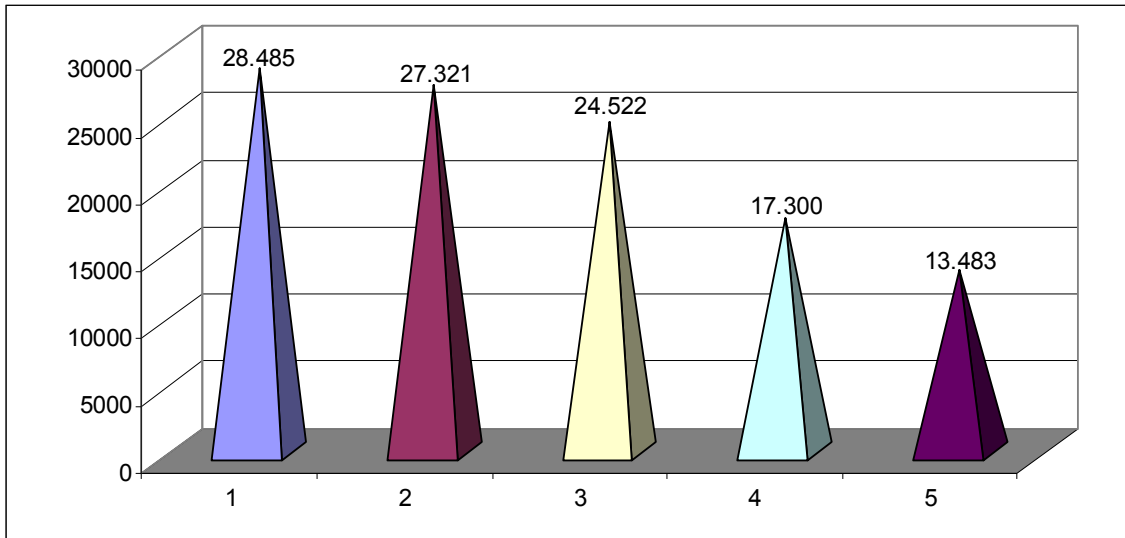
Slika 47. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 4 (EUR) po alternativama



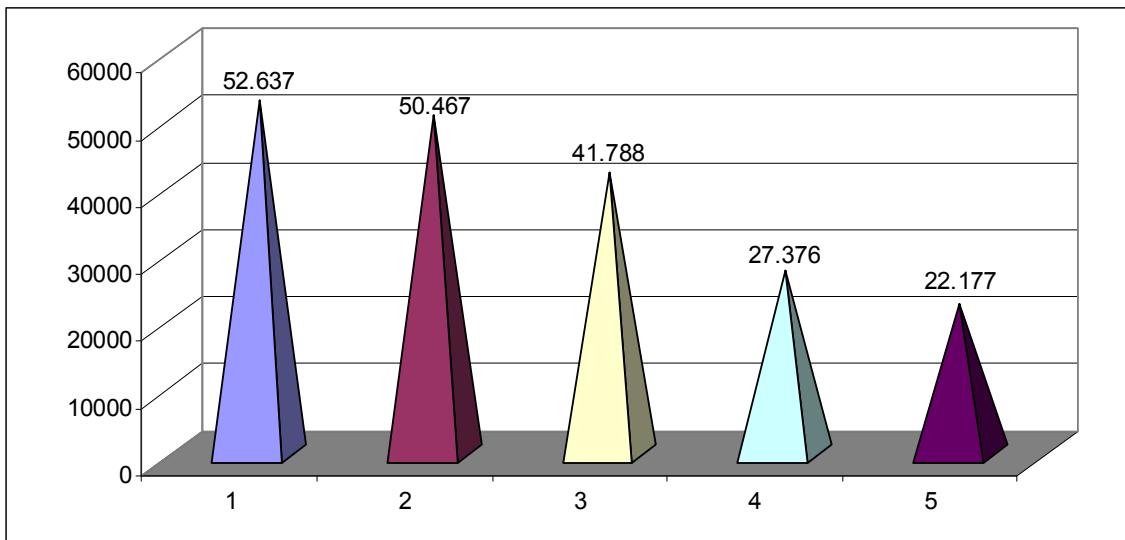
Slika 48. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 5 (EUR) po alternativama



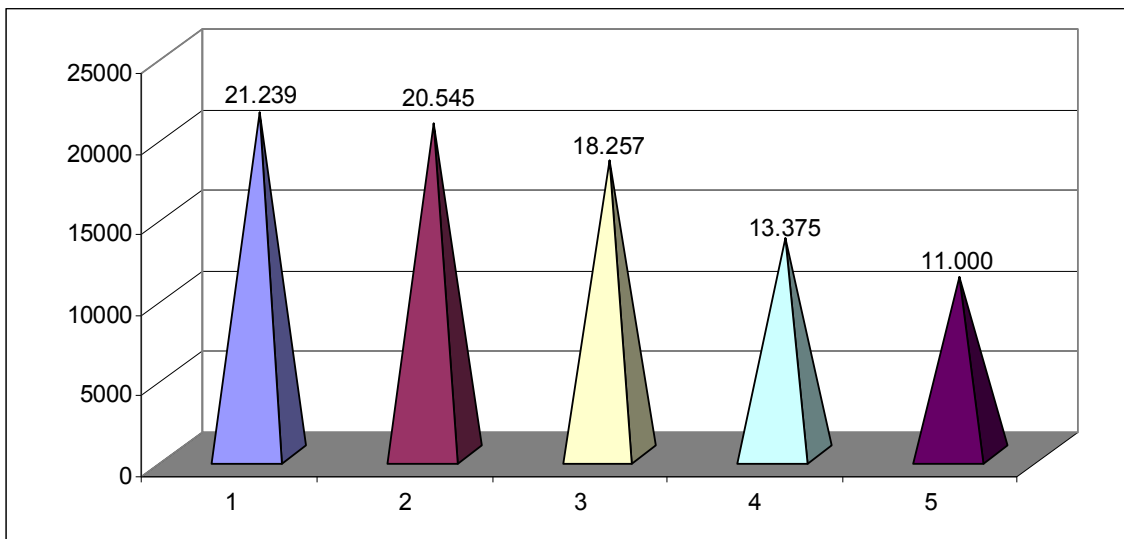
Slika 49. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 6 (EUR) po alternativama



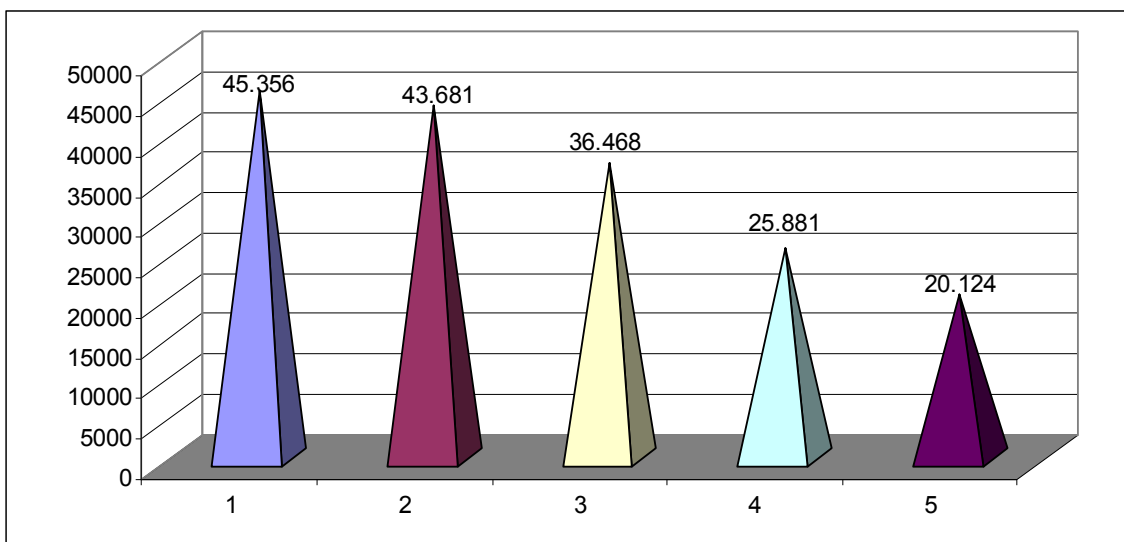
Slika 50. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 7 (EUR) po alternativama



Slika 51. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 8 (EUR) po alternativama



Slika 52. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 9 (EUR) po alternativama



Slika 53. Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" zgrade br. 10 (EUR) po alternativama

Kretanje troška priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" prati kretanje instalirane snage zgrade, ali ta veza nije linearna. Primećuje se da je pad vrednosti troška priključenja blaži i kontinualniji, posmatrano po alternativama, od smanjenja instalirane snage izazvane primenjenim merama energetske sanacije. Postoje neki razlozi koji objašnjavaju ovu činjenicu.

Dimenzija priključnog cevovoda za toplotnu podstanicu ne može linearno pratiti promenu potrebnog protoka tople vode. Pločasti izmenjivači toplote mogu se naći na tržištu u standardnim veličinama. Lepeza raspoloživih veličina manja je nego za drugu opremu za centralno grejanje.

Primenjene mere energetske sanacije smanjuju visinu troška za priključenje na sistem "Beogradskih elektrana". Najmanja ušteda se ostvaruje kod alternative A_2 , a najveća kod alternative A_5 . Ukupno smanjenje visine troška priključenja razlikuje se od objekta do objekta. Ono se kreće od cca 4 % za alternativu A_2 , a za alternativu A_5 vrednost uštede prelazi 50%, za većinu posmatranih objekata. Prema tome, manja potreba za energijom podrazumeva manju instaliranu snagu, a time i manji trošak priključenja na sistem "BE". Kvalitetnija izolacija zgrade donosi pozitivnije efekte kod ovog troška nego kod troška opreme za centralno grejanje.

Svi analizirani objekti slično se ponašaju po posmatranim alternativama, pa se primećena kretanja mogu šire primeniti.

Trošak priključenja na sistem "Beogradskih elektrana" pojavljuje se jednokratno na početku životnog veka projekta.

5.5 EKSPLOATACIONI TROŠAK

Najveći broj domaćinstava u Srbiji permanentno planira kako se najjeftinije grejati. Prema trenutnim cenama, ugalj i drva su najisplativiji. Lignit čini glavnu rezervu uglja u Srbiji. Toplotna vrednost mu je od 6 do 12,5 MJ/kg. Zbog svojih svojstava, kao izvora toplotne energije, moguće ga je koristiti nezavisno od komunalne infrastrukture. Pouzdanost dostupnosti energenta je velika, ali je teško prihvatljiv sa ekološkog aspekta.

Prema istraživanjima Agencije za energetske efikasnost, 50% stanovništva Republike Srbije koristi ugalj (čvrsta goriva) kao energent za grejanje, pripremu sanitarne tople vode i druge potrebe. Ugalj nije popularan samo kod nas. U pojedinim delovima Nemačke, krajem prošlog veka, 40%-50% privatnih kuća grejalo se na ugalj [31]. Cena je deterministička veličina, pa često ima presudan uticaj na donošenje odluke.

Širenje gradske mreže toplovoda, u okviru programa priključenja 21.000 stanova, omogućilo je gašenje lokalnih kotlarnica, od kojih su neke koristile ugalj. Ako se tim stanovima dodaju oni koji nisu imali centralno grejanje, a koristili su ugalj, značajan broj postojećih stanova više ne koristi ovaj energent.

Cena isporučene toplotne energije (eksploatacioni trošak), izračunata je na godišnjem nivou. Eksploatacioni trošak je trošak koji je najviše izložen riziku jer je prisutan sve vreme životnog veka projekta.

Tabela sa cenama "Beogradskih elektrana" [38] prikazuje parametre na osnovu kojih se računa cena isporučene toplotne energije, na godišnjem nivou. Deo tih podataka je prikazan u tabeli 16. i vezuje se za instaliranu snagu objekta (kW) i efektivnu površinu objekta.

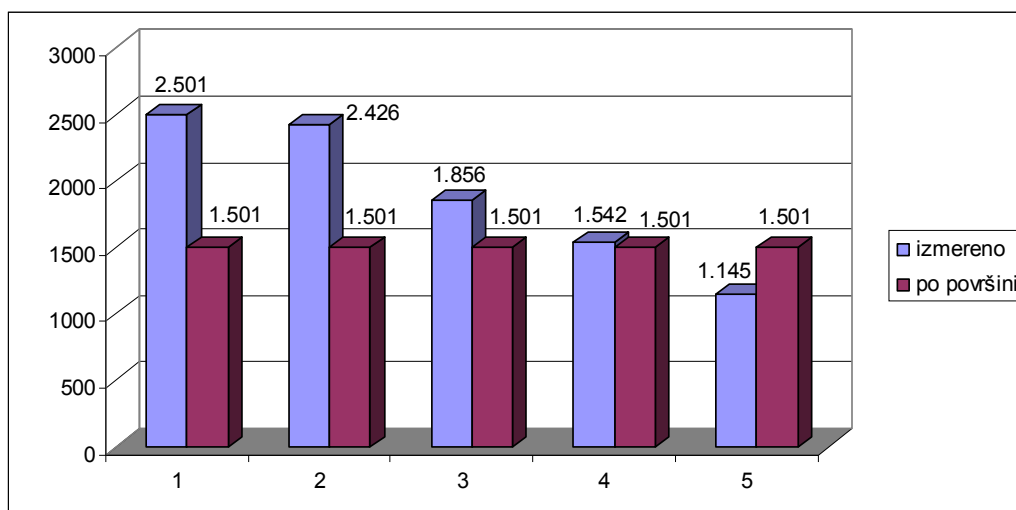
Vidljivo je da se plaćanje isporučene toplotne energije može realizovati ili na osnovu površine stana, ili na osnovu potrošene toplotne energije. Drugi način plaćanja sadrži fiksni deo (plaća se tokom cele godine) i varijabilni deo (plaća se po očitanoj meri potrošene toplotne energije).

Godišnja potrebna energija za grejanje objekta, računata je po proceduri propisanoj u [55], i instalirana snaga objekta, određena na osnovu ukupnih gubitaka toplote, su relevantni parametri za izračunavanje eksploatacionih troškova. Obadve veličine su u direktnoj korelaciji sa primenjenim merama energetske sanacije.

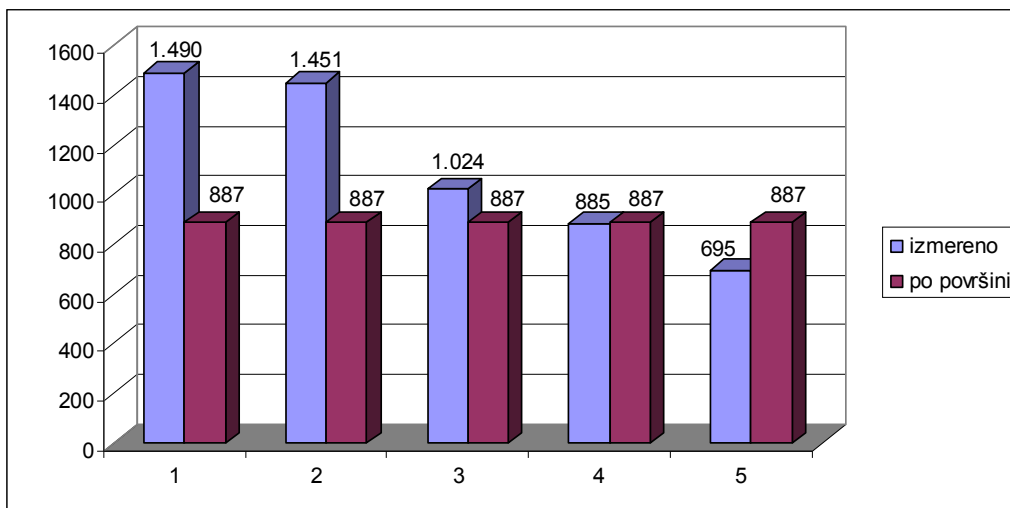
Tabela 16. Cena isporučene toplotne energije "Beogradskih elektrana" (dinara) [38]

Redni broj	Kategorija potrošača	Za zagrevanje prostorija				
		Prema površini	Prema instaliranoj snazi	Po izmerenoj količine toplote		
				Instalirana snaga		Utrošena energija
		din./m ² godišnje	din./kW godišnje	din./kW godišnje	din./m ² godišnje	din./kWh
1	Stambeni prostor	1.079,45		2.583,41	406,35	5,26
2	Ostali potrošači		8.540,32	2.583,41		6,61

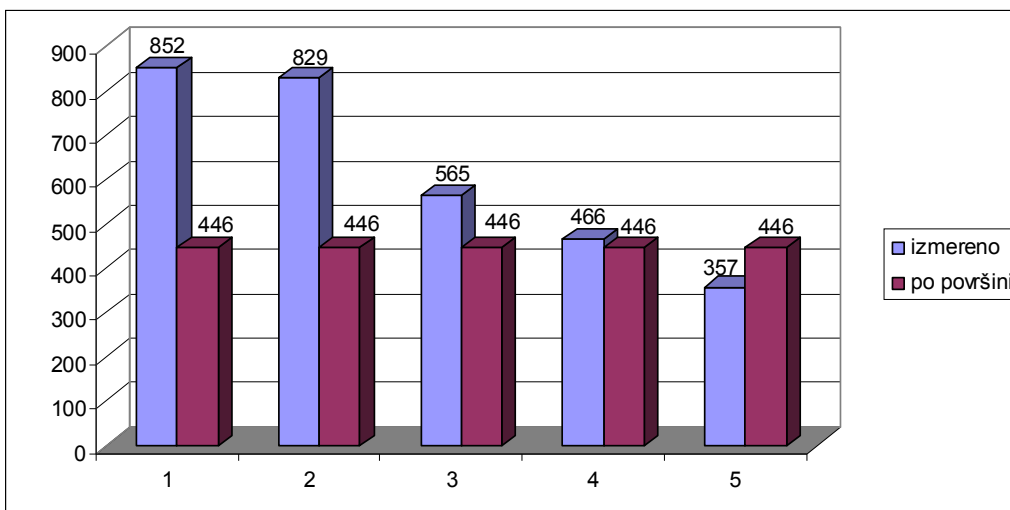
Trošak isporučene toplotne energije "Beogradskih elektrana" se izračunava na bazi tabele 16. Rezultati proračuna po alternativama (u 1.000 dinara), prikazani su na dijagramima koji slede sl. 54 do sl 63.



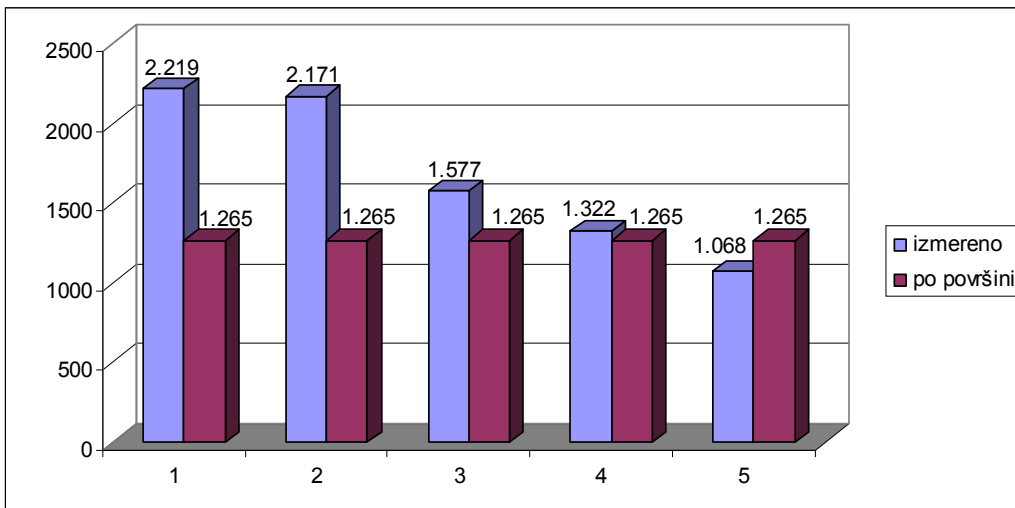
Slika 54. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 1 (1.000 din.) po alternativama



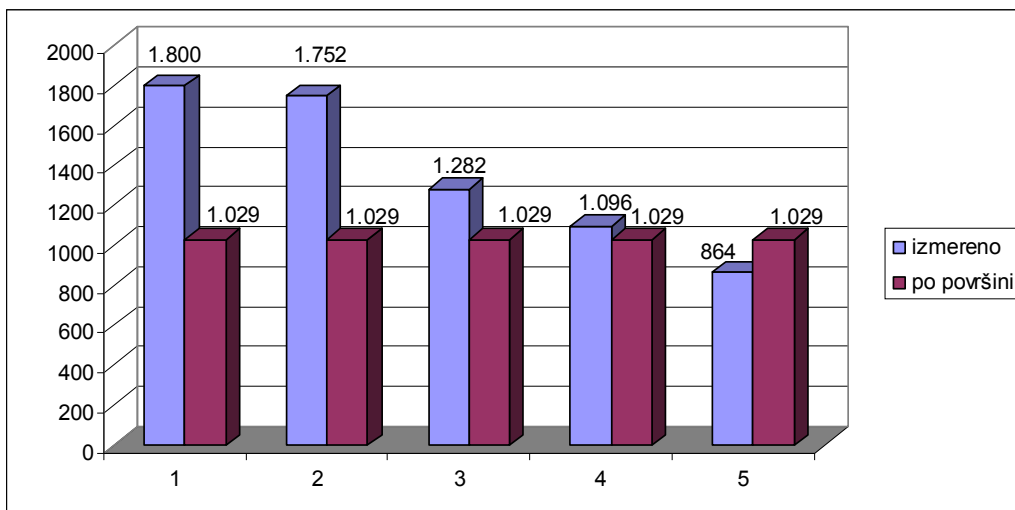
Slika 55. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 2 (1.000 din.) po alternativama



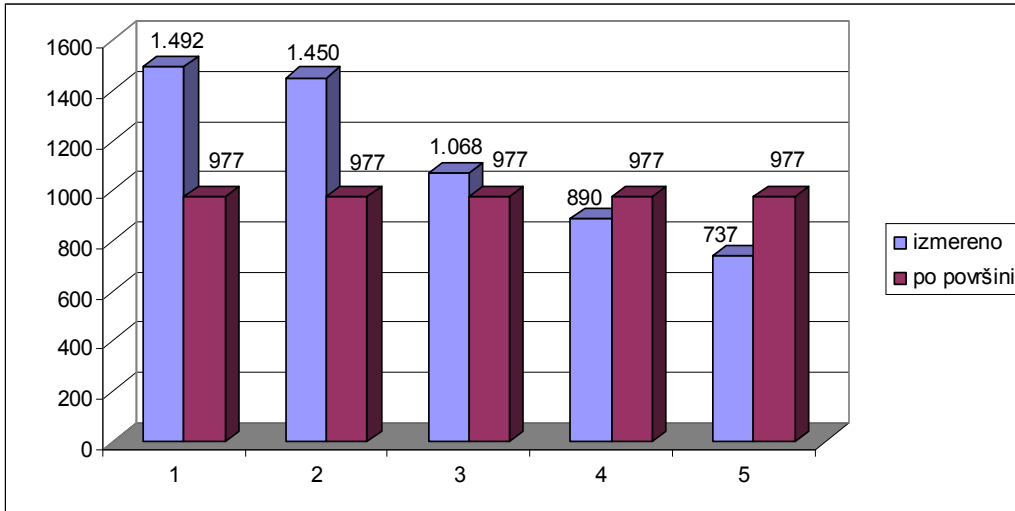
Slika 56. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 3 (1.000 din.) po alternativama



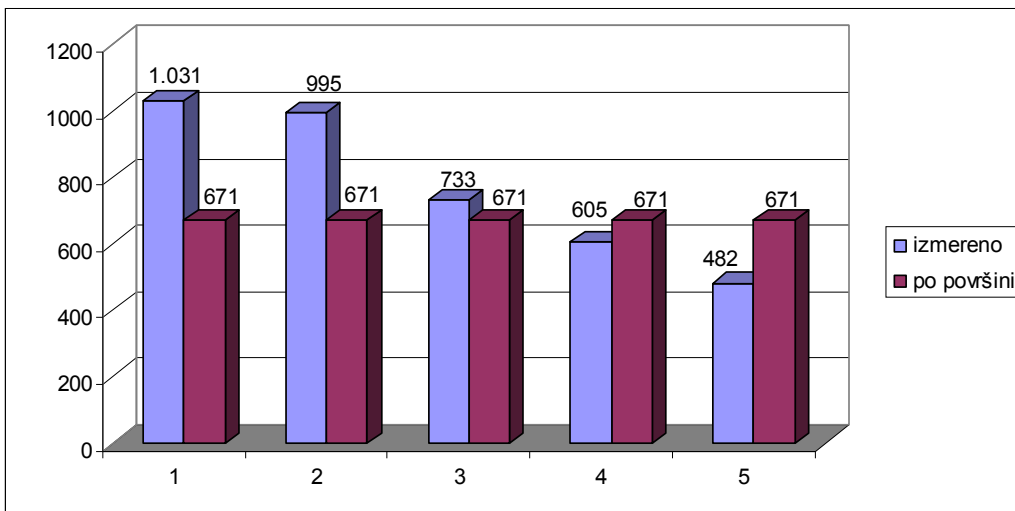
Slika 57. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 4 (1.000 din.) po alternativama



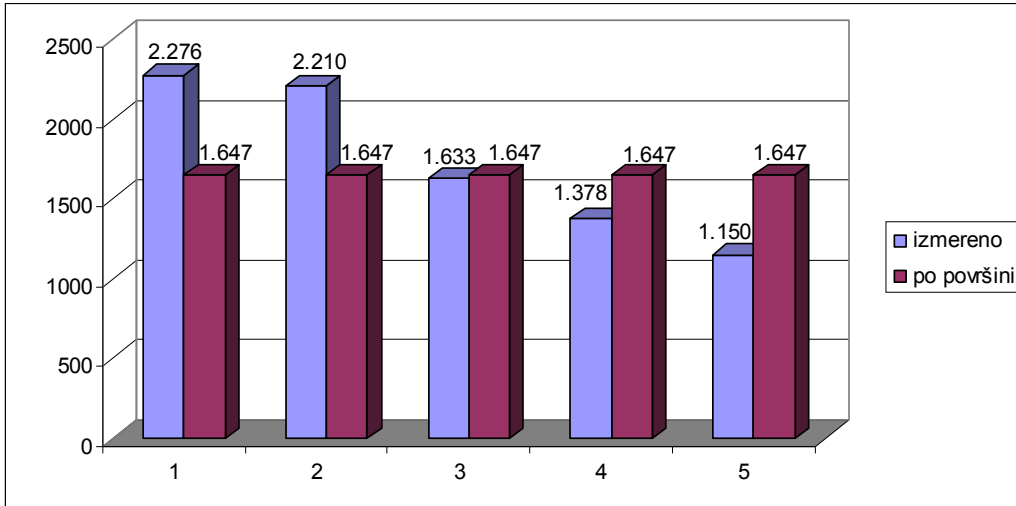
Slika 58. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 5 (1.000 din.) po alternativama



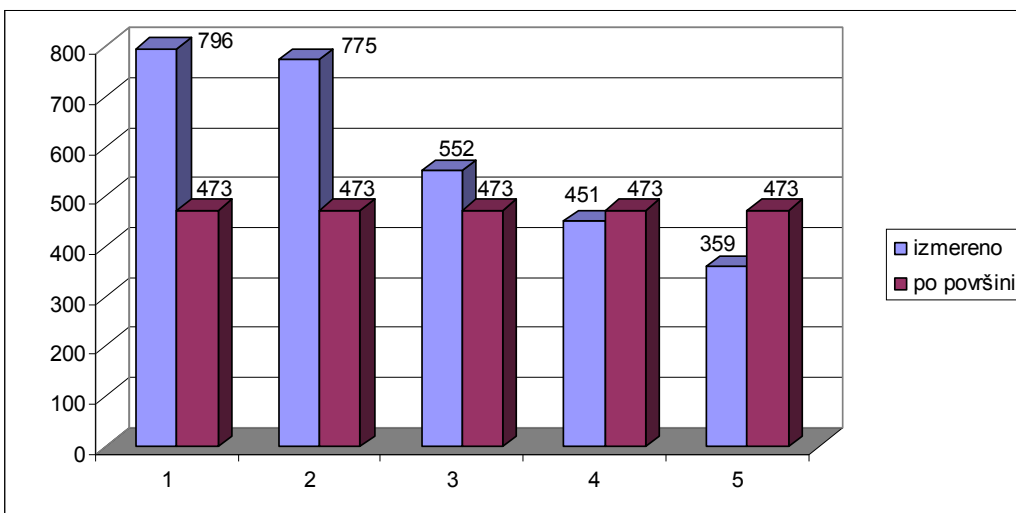
Slika 59. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 6 (1.000 din.) po alternativama



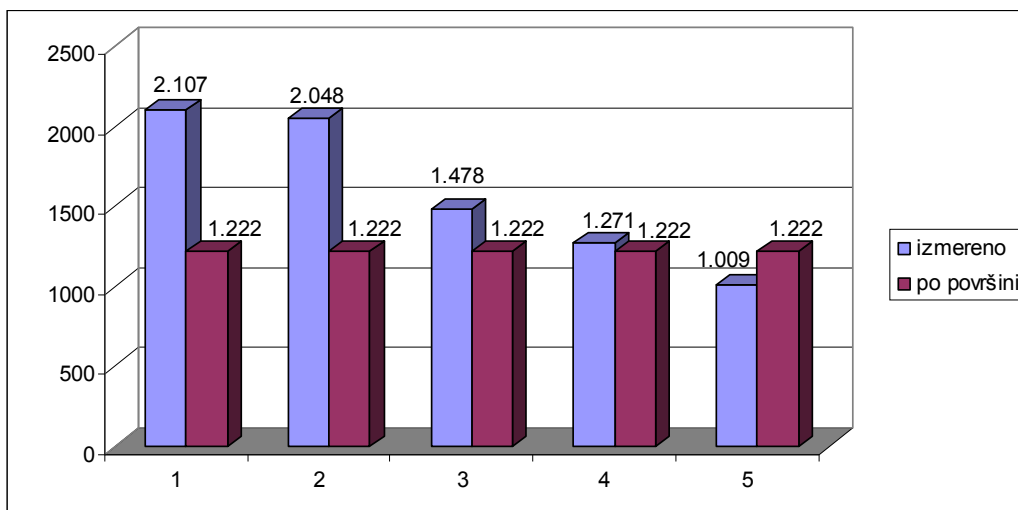
Slika 60. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 7 (1.000 din.) po alternativama



Slika 61. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 8 (1.000 din.) po alternativama



Slika 62. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 9 (1.000 din.) po alternativama



Slika 63. Trošak isporučene toplotne energije za zgradu br. 10 (1.000 din.) po alternativama

Prikazani dijagrami pokazuju cenu isporučene toplotne energije po dva osnova: cena izračunata na osnovu efektivne površine objekta i cena određena na osnovu izračunate $Q_{H,nd}$ (kWh/a), godišnje potrebne energije za grejanje. Ako se cena računa na osnovu površine objekta, ona ne zavisi od mera preduzetih u cilju povećanja energetske efikasnosti objekta, pa je ista za sve alternative.

Zajednička karakteristika posmatranih objekata, koji su deo stambenog fonda Beograda, je neracionalno velika potrošnja energije za grejanje. Zbog karakteristika gradnje, nedostatka propisa o toplotnoj zaštiti objekata i nepreduzimanja koraka ka povećanju energetske efikasnosti, biće teško plaćanje po utrošenoj energiji učiniti atraktivnim.

Cena isporučene toplote na bazi izračunate $Q_{H,nd}$ energije, veća je za alternative 1, 2 i 3, za sve posmatrane zgrade, osim za zgradu 8 (A_3), od cene izračunate na osnovu površine zgrade. Za alternativu 5, povoljniji je obračun po potrošenoj energiji. Za alternativu 4, neznatna je prednost za jednu ili drugu varijantu po posmatranim objektima. Primenjene

mere energetske sanacije u alternativni 4, nivo troška stavljaju u istu ravan za ove dve varijante plaćanja.

Cena isporučene toplote računata na bazi potrošene energije u velikoj meri zavisi od primenjenih mera energetske sanacije objekta. Merenje potrošnje je korak ka uštedi energije sa svim pozitivnim posledicama. Sistem obračuna potrošene energije mora biti izbalansiran da bi delovao stimulatивно. Potrebno je obezbediti propisani nivo komfora za cenu koja mu je primerena.

Trenutni paritet cena, za neizolovane objekte, afirmiše plaćanje po kvadratnom metru stana. To nije dobro jer bi osnovna postavka trebalo da se temelji na principu *plati ono što potrošiš*. Ako se potrošena energija ne meri, za očekivati je da se potrošač komotnije ponaša. Takvo ponašanje nije karakteristika samo ambijenta u kome mi živimo. Istraživanje ponašanja stanara u 600 stambenih objekata u Švedskoj je pokazalo da je prosečna temperatura grejanog prostora u individualnim objektima niža za 2°C od temperature stanova u stambenim zgradama gde je plaćanje zajedničko [2].

U tehnološkom smislu može je realizovati merenje potrošene energije i u novim i u starim objektima. Moguće je ugraditi kalorimetar na ulazu u stambenu jedinicu, ako to konfiguracija mreže dozvoljava. Ako to nije slučaj, postavljaju se delitelji toplote na svako grejno telo, koji raspoređuju energiju izmerenu na kalorimetru podstanice.

Na bazi izvršene analize može se zaključiti da se puni pozitivni efekat primene sistema naplate potrošene energije na osnovu merenja može očekivati tek nakon energetske sanacije objekata.

5.6 EKOLOŠKI KRITERIJUM

Intenzivan rast industrijske proizvodnje, rast ljudske populacije i njenih potreba, doprineli su značajnom povećanju potrošnje energije [40]. Porast je zabeležen u svim segmentima ljudske delatnosti, tako da je intenzivno rasla i emisija štetnih materija u atmosferu [67]. Smatra se da povećana koncentracija štetnih materija izaziva efekat staklene bašte, razaranje ozonskog omotača, stvaranje kiselih kiša, smoga, uticaja na zdravlje ljudi, itd.

Najveći deo emisije štetnih materija (oko 90%) potiče od sagorevanja fosilnih goriva [42]. Deo problema je posledica nekontrolisane seče šuma, ali je uticaj ostalih uzročnika zanemarljiv u odnosu na sagorevanje fosilnih goriva. Fosilna goriva su podeljena u četiri osnovne kategorije: ugalj i proizvodi od uglja, tečna goriva, prirodni gas i druga goriva (otpadno ulje i sl.).

Sagorevanjem fosilnih goriva, pored štetnih gasova koji se tom prilikom emituju, dolazi i do emisije čestica. U toku procesa sagorevanja dolazi do emisije ugljen-dioksida CO_2 , sumpor-dioksida SO_2 , oksida azota NO_x , ugljen-monoksida CO , a može doći i do emisije organskih i neorganskih čestica. Čestice dalje iniciraju vezivanje drugih materija u atmosferi, utičući na stvaranje smoga u nižim slojevima atmosfere. Koliko će se čestica emitovati u atmosferu zavisi, pre svega, od vrste korišćenog energenta, a zatim od režima upotrebe kao što je kvalitet sagorevanja, postojanje filtera itd.

Veliki problem predstavlja prisustvo oksida sumpora u produktima sagorevanja. U atmosferi se SO_2 dalje transformiše u SO_3 , koji sa vlagom iz vazduha formira fine kapljice sumporaste kiseline. Kao posledica emisije SO_x nastaju kisele kiše koje štetno deluju na biljke, a mogu da izazovu koroziju i razaranje objekata.

Oksidi azota, koji se uobičajeno označavaju NO_x , poslednjih godina dospeli su u centar pažnje, s obzirom da su identifikovani kao uzročnici mnogih neželjenih pojava. Njihovo štetno dejstvo vezuje se za:

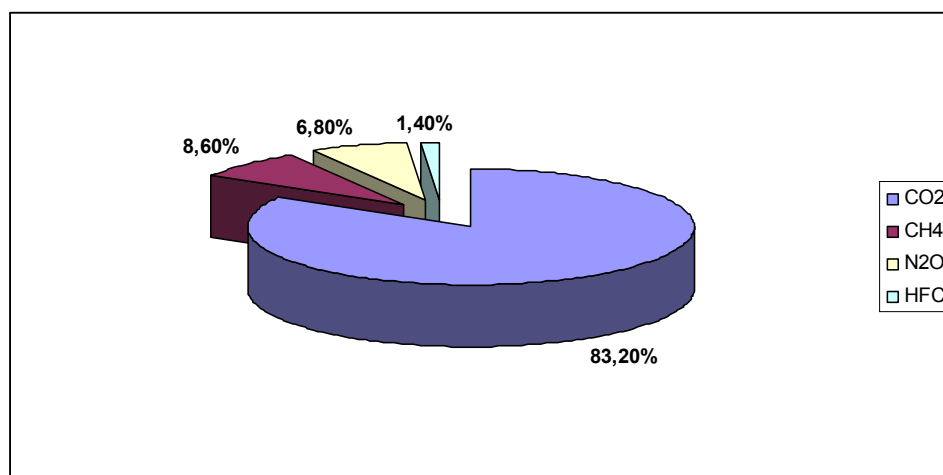
- uticaj na zdravlje ljudi
- smanjenje vidljivosti i stvaranje fotohemijskog smoga - posledica reakcija NO_x sa organskim materijama u prisustvu sunčeve svetlosti
- razaranje ozona u višim slojevima atmosfere

- stvaranje štetnog ozona u nižim slojevima atmosfere
- stvaranje kiselih kiša

Preko 90% oksida azota emitovanih usled procesa sagorevanja čini azot-monoksid NO, dok ostatak čini azot-dioksid NO₂. Međutim, kako se azot-monoksid NO u atmosferi konvertuje u azot-dioksid, većina propisa iz oblasti zaštite životne sredine tretira sve okside azota kao NO₂.

Najzastupljeniji gas staklene bašte je ugljen-dioksid koji je u atmosferi zastupljen sa samo 370 ppm, odnosno čini 0,037% zemljine atmosfere [24]. Koncentracija ugljen-dioksida u vazduhu porasla je 31% u odnosu na 1750. godinu. Oko 98% emisije ugljen-dioksida potiče od sagorevanja fosilnih goriva, dok se ostatak emituje pri proizvodnji cementa, proizvodnji kreča, sagorevanju otpada i sl. Iako nema štetno dejstvo na zdravlje, ugljen-dioksid izaziva efekat staklene bašte pa na taj način utiče na globalno zagrevanje.

N slici 64. prikazana je struktura gasova staklene bašte [24].



Slika 64. Struktura gasova staklene bašte [24]

Gasovi koji su inače u sastavu atmosfere malo zastupljeni glavni su uzrok klimatskih promena. Određeni gasovi (najviše CO₂) zadržavaju se u atmosferi obrazujući "štit" koji propušta sunčeve zrake koje zagrevaju i površinu Zemlje i atmosferu. Kao posledica

zagrevanja, sa površine Zemlje emituje se infracrveno zračenje. Deo zračenja prolazi kroz atmosferu, deo biva reflektovan od strane gasova staklene bašte, a deo biva apsorbovan. Zbog apsorpcije zračenja od strane gasova staklene bašte, dolazi do ponovnog emitovanja zračenja prema Zemlji. Ova pojava poznata je kao efekat staklene bašte, a njena posledica je zagrevanje površine Zemlje i nižih slojeva atmosfere.

Ne doprinose sva goriva u istoj meri emisiji ugljen-dioksida. S obzirom na različit hemijski sastav, različite su i emisije nastale kao posledica sagorevanja različitih goriva. Isti toplotni efekat ima različite posledice ovisno o korišćenom gorivu. Da bi se različita goriva mogla međusobno porediti, uveden je koeficijent emisije ugljen-dioksida KCO_2 , koji predstavlja masu emitovanog ugljen-dioksida u atmosferu svedenu na jedinicu energije. Koeficijent emisije ugljen-dioksida određuje se na sledeći način :

$$KCO_2 = 3,67 * \frac{g_c}{H} \quad (18)$$

- 3,67 - stehijometrijski koeficijent
- g_c - maseni udeo gorivog ugljenika u gorivu
- H (MJ/kg) - toplotna moć goriva

Posmatrano sa ekološkog aspekta prvenstveno je važna vrsta energenta koji se koristi, ali nije zanemariv ni za sam izvor toplote. Bolje tehničke karakteristike postrojenja, nivo automatizacije, merenje potrošene energije garantuju uštedu energije. S obzirom da je većina raspoloživih energenata koji sagorevaju, u suštini, fosilnog porekla svako smanjenje potrošnje ima pozitivne ekološke efekte.

„Beogradske elektrane“ za proizvodnju toplotne energije koriste najviše prirodni gas (82 %), Procenat upotrebe ekološki prihvatljivih obnovljivih izvora energije još uvek je zanemariv (manje od 1%) u konkretnom slučaju kao i na globalnom nivou. Problemi životne sredine, kao posledica preterane upotrebe fosilnih goriva, zaslužuju posebnu pažnju ne samo sa ekonomskog, energetske već i sa ekološkog gledišta.

Prirodni gas, generalno je prihvatljiv sa stanovišta emisije CO_2 i čestica. Ovaj energent se lako meša sa vazduhom, ima veliku brzinu sagorevanja bez dima, čađi i čvrstih

ostataka. Stepen korisnog dejstva kotlova je relativno visok pa je time manja potrošnja goriva. Manja količina sagorelog fosilnog goriva ima pozitivne ekološke efekte.

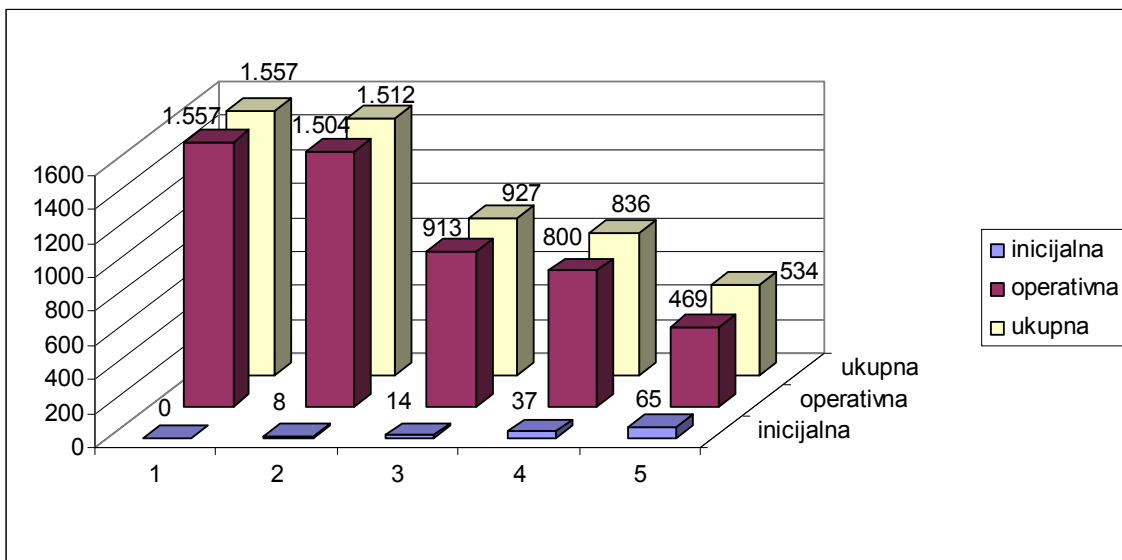
Ukupna emisija ugljen-dioksida sastoji se od dve komponente: inicijalne i operativne. Inicijalna emisija CO₂ posledica je proizvodnje materijala korišćenih u energetske sanaciji objekata [36]. Operativna emisija ugljen-dioksida nastaje kao posledica zagrevanja objekata.

Emisija ugljen-dioksida nastala usled sagorevanja fosilnih goriva za potrebe zagrevanja objekata računata je kumulativno za eksploatacioni period od 20 godina. Osnov za izračunavanje emisije ugljen-dioksida je $Q_{H,nd}$, godišnja potrebna energije za grejanje. Vrednosti emisije CO₂, proračunate su preko faktora 0,33 kg/kWh [55].

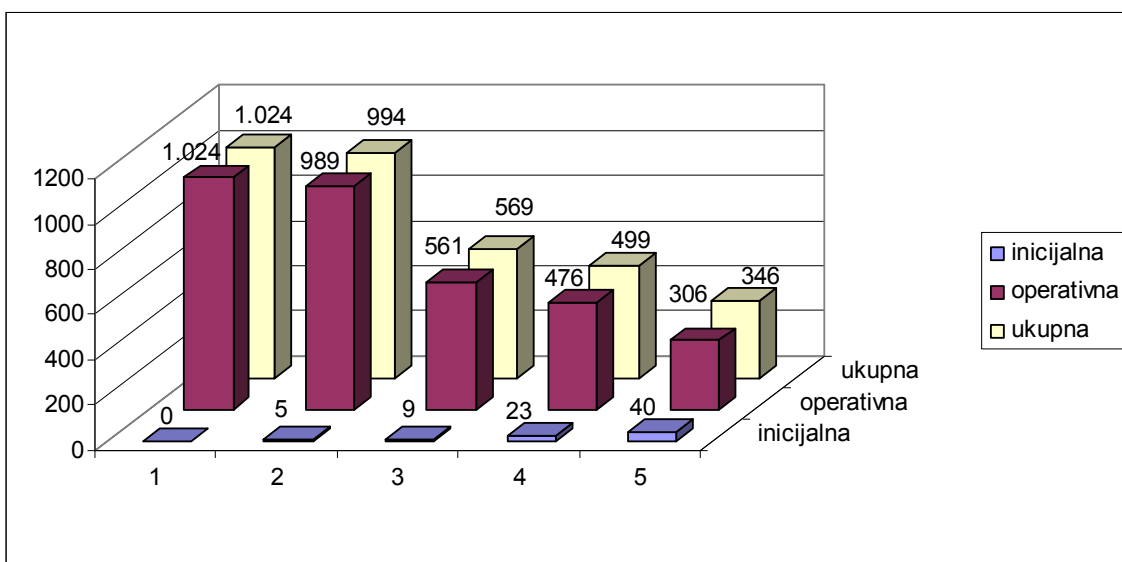
Materijali korišćeni prilikom energetske sanacije objekata, a time i koeficijenti emisije ugljen-dioksida svrstani su u tri grupe:

- toplotna izolacija plafona podruma i tavana izvedena je od staklene vune sa koeficijentom emisije 2.606 kg CO₂/t materijala [11].
- toplotna izolacija spoljnih zidova izvedena je od tvrde ekstrudirane polistirenske pene, stirodura sa koeficijentom emisije 14 kg CO₂/m² za ploču debljine 10 cm [7].
- PVC stolarija se sastoji od: PVC okvira sa metalnim ojačanjem, stakla, metalnih okova, spojnog i zaptivnog materijala. Koeficijent emisije za staklo, proizvedeno sagorevanjem prirodnog gasa, iznosi 0,6 kg CO₂/(1 kg stakla) [29], a kompletan prozor ima koeficijent emisije 0,72 kg CO₂/(1 kg prozora)

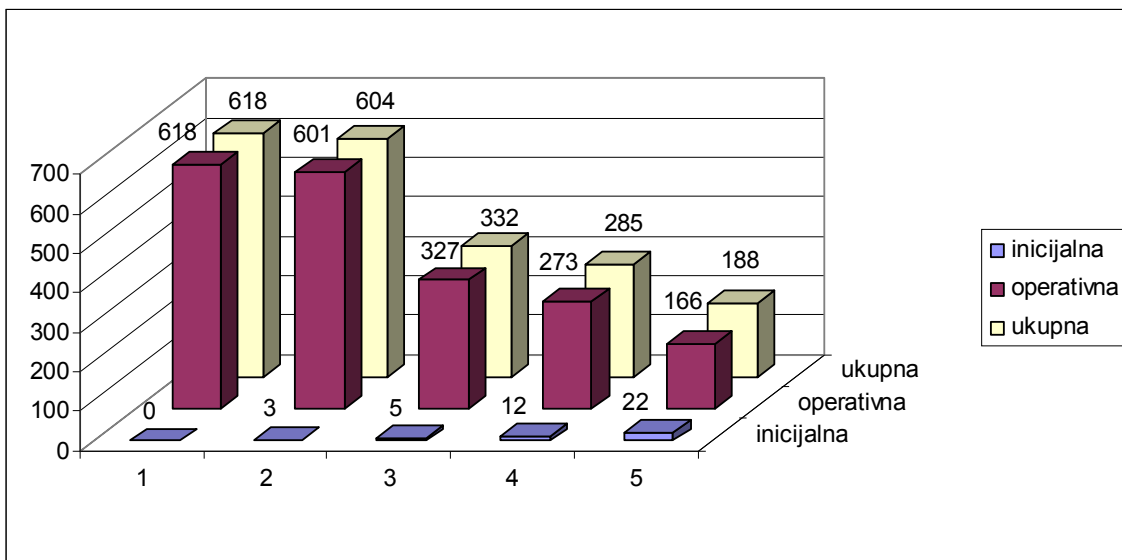
Ukupna emisija ugljen-dioksida izražena u tonama po alternativama, prikazana je na dijagramima koji slede sl. 65 do sl 74.



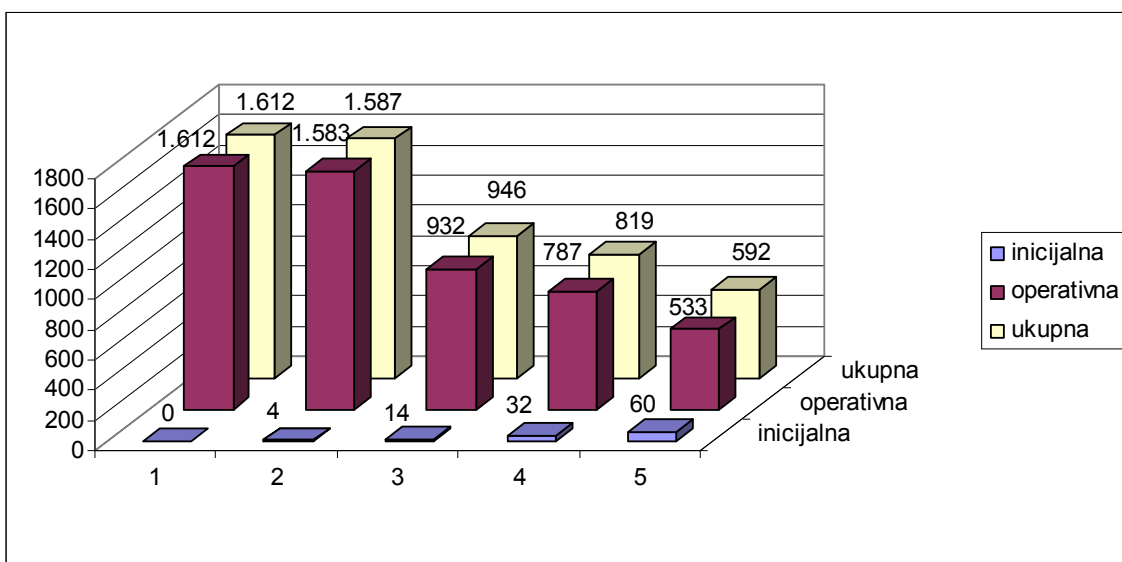
Slika 65. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 1 (tona) po alternativama



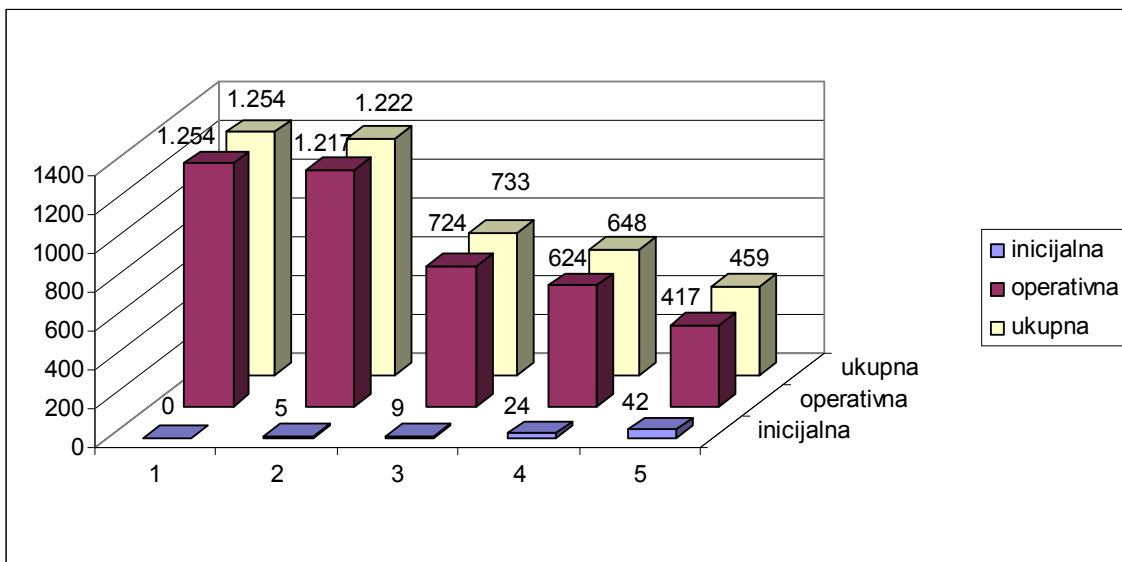
Slika 66. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 2 (tona) po alternativama



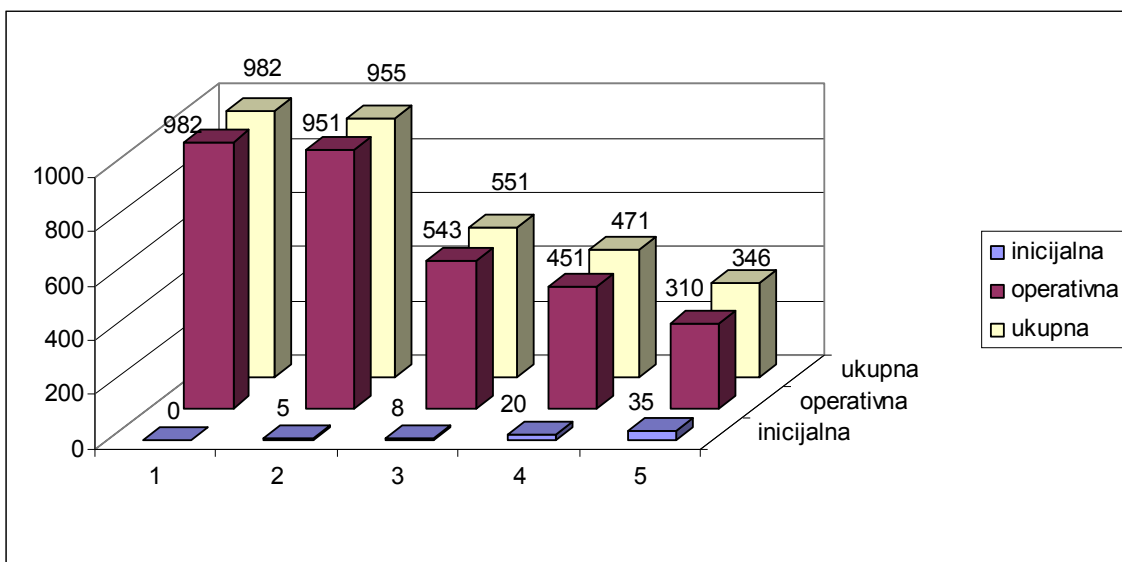
Slika 67. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 3 (tona) po alternativama



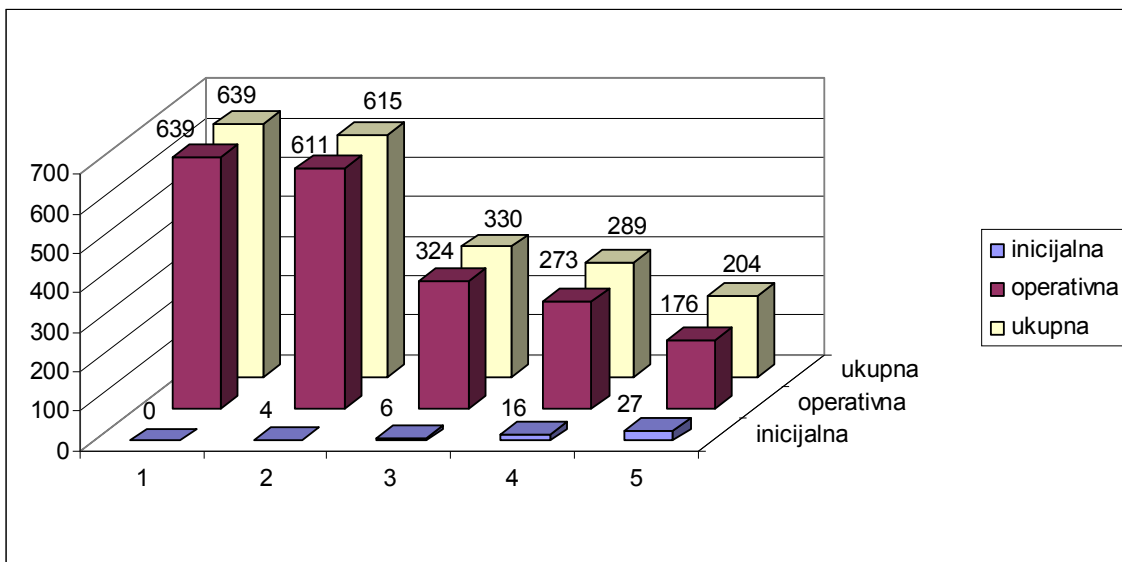
Slika 68. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 4 (tona) po alternativama



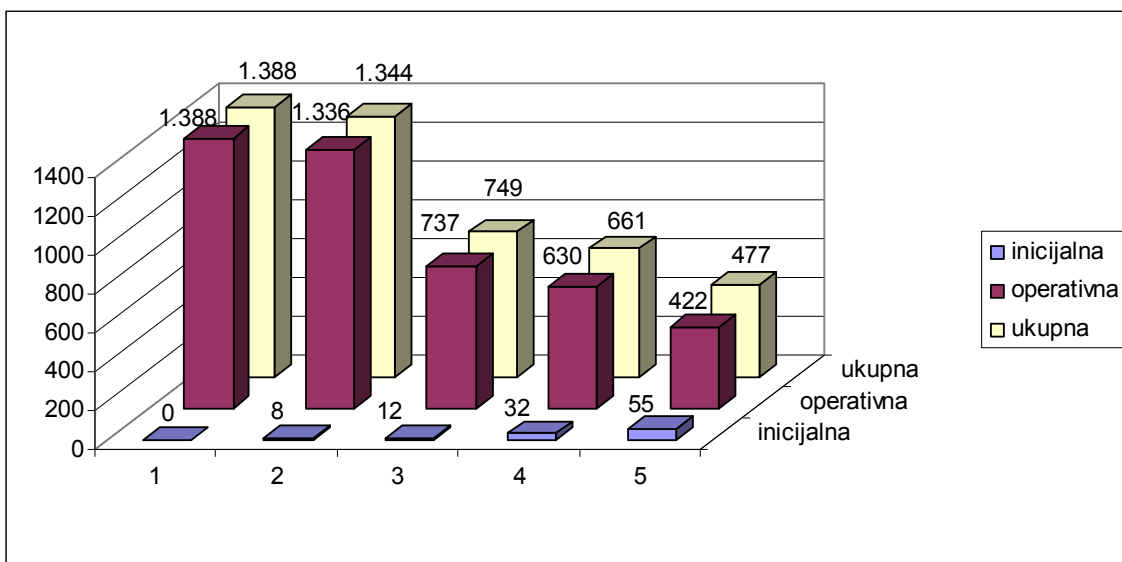
Slika 69. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 5 (tona) po alternativama



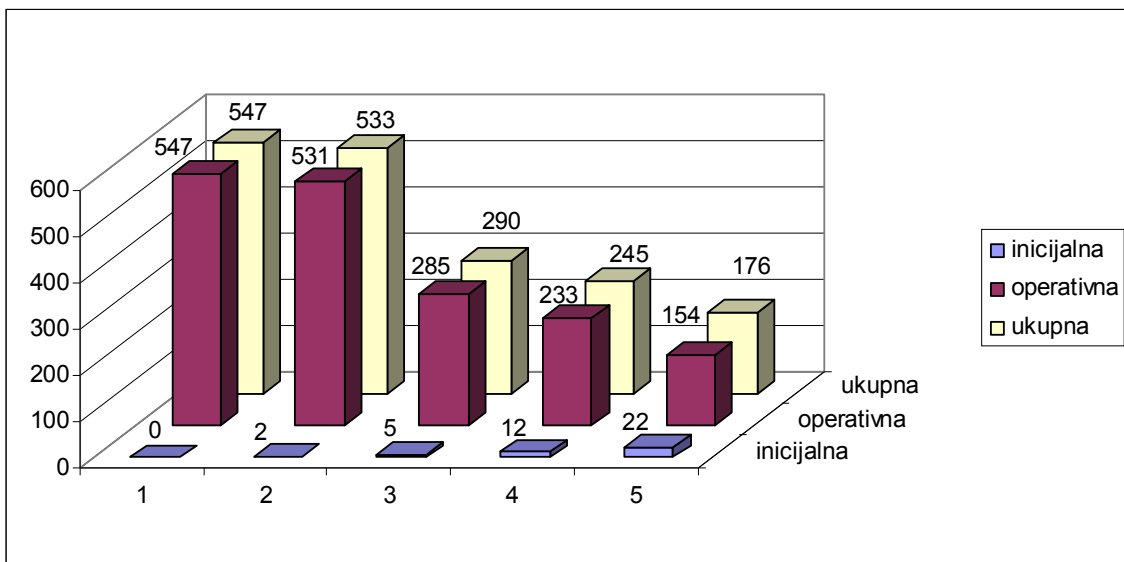
Slika 70. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 6 (tona) po alternativama



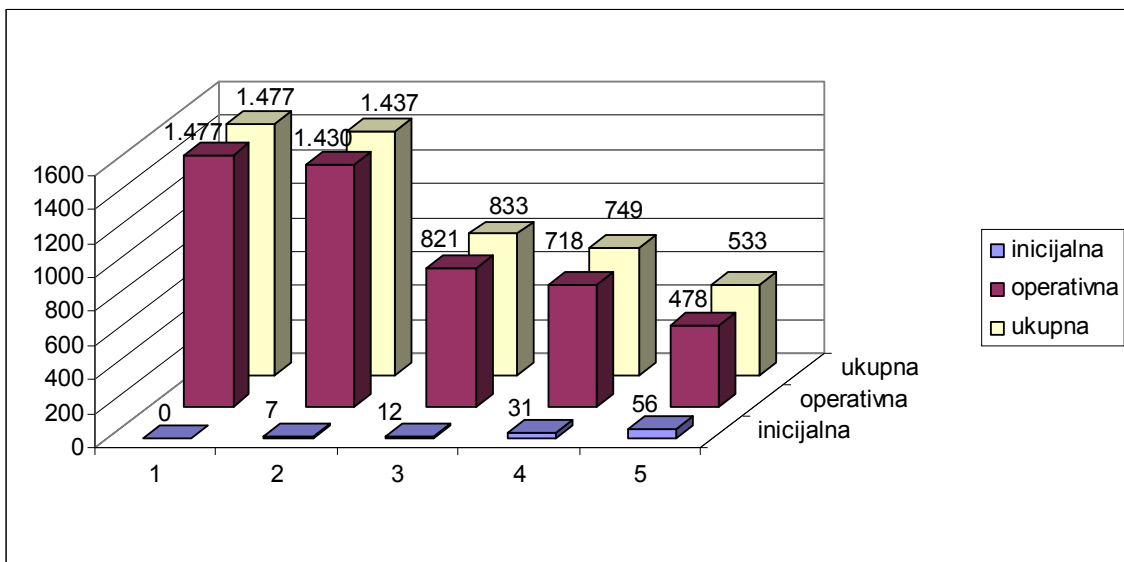
Slika 71. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 7 (tona) po alternativama



Slika 72. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 8 (tona) po alternativama



Slika 73. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 9 (tona) po alternativama



Slika 74. Ukupna emisija ugljen-dioksida za zgradu br. 10 (tona) po alternativama

S obzirom da se posmatrani objekti razlikuju svojom formom, veličinom, brojem spratova, faktorom oblika različiti su odnosi inicijalnih i operativnih emisija ugljen-dioksida. Različiti su i trendovi rasta emisija po alternativama. Postoje neki pokazatelji koji su zajednički za sve objekte.

Jedan od ciljeva energetske sanacije objekata je smanjenje emisije ugljen-dioksida i drugih štetnih produkata sagorevanja u atmosferu. Preduzete mere imaju za posledicu odgovarajuću emisiju CO₂. Kvalitetnije i sveobuhvatnije intervencije uzrokuju veću inicijalnu emisiju ugljen-dioksida tako da je najveća za alternativu 5, a zanemariva za alternativu 1.

Operativna emisija CO₂ ima suprotnu tendenciju rasta. Veća ulaganja u energetske sanacije objekata smanjuju emisiju ugljen-dioksida u atmosferu. Kod alternative 1 najveća je operativna emisija i ona je jednaka ukupnoj emisiji.

Tek kod alternative 5 veća je inicijalna emisija ugljen-dioksida od operativne, posmatrane na godišnjem nivou, kod svih objekata. Prosečno procentualno učešće inicijalne emisije CO₂, u odnosu na ukupnu iznosi: 11,27% za alternativu 5, 4,44% za alternativu 4, 1,51% za alternativu 3 i za alternativu 2 je neznatno - manje od 1%. To ukazuje da je operativna emisija glavni problem i da je potrebno preduzeti mere za povećanje energetske efikasnosti objekata. Predviđene mere smanjuju ukupnu emisiju ugljen-dioksida od 2,72 (zgrada 4) do 3,28 (zgrada 3) puta.

Problem emisije ugljen-dioksida postaje sve složeniji. Nametnuo se kao ekološki problem i nezaobilazna komponenta održivog razvoja. Danas postaje sve značajniji politički problem [70, 71, 73]. Najodgovornije zemlje za ukupnu emisiju su one sa razvijenim ekonomijama i snažnim privrednim rastom. Najveći porast je zabeležen u zemljama čije se ekonomije ubrzano razvijaju, poput Kine i Indije, ali i u razvijenim zemljama.

Najveći rast emisije ugljen-dioksida u poslednjih deset godina zabeležen je u Kini i Indiji. Slika izgleda drugačije kada se porede emisije CO₂ po stanovniku. Najveća emisija je u SAD 16,9 tona CO₂ po stanovniku, EU emituje 8,1 tonu, a Kina 6,8 tona CO₂ po stanovniku [42]. Smanjenje emisije ima implikacije na brojna ekonomska, društvena, politička i druga pitanja.

Emisija ugljen-dioksida (podaci za 2008. godinu) u Srbiji je bila 6,32 tona CO₂ po stanovniku, a zemlje koje su bile u sastavu bivše Jugoslavije su imale sledeće emisije: Bosna i Hercegovina 7,48 tona CO₂ po stanovniku, Hrvatska 5,28 tona CO₂ po stanovniku i Slovenija 8,97 tona CO₂ po stanovniku [41, 69]. Relativno visok nivo emisije CO₂ u Srbiji i BiH nije rezultat intenzivnih privrednih aktivnosti nego neracionalne potrošnje i proizvodnje energije.

Klima je određena brojnim interakcijama između Sunca, okeana, atmosfere, kopna i živih organizama. Narušavanjem odnosa u atmosferi, narušava se i klimatska ravnoteža. U poslednjih sto godina ljudske su se aktivnosti jako intenzivirale, pre svega sagorevanje fosilnih goriva, direktno utičući na klimu. Neodgovorno i uskogrudo ponašanje može izazvati poguban uticaj na civilizaciju i život na planeti zbog porasta trenda globalnog zagrevanja.

Potrebno je naći najpovoljnije rešenje, jednu od pet alternativa u sistemu od šest kriterijuma. Izbor najpovoljnije alternative ne znači nalaženje savršenog rešenja. Ne postoji rešenje koje je najbolje po svim kriterijuma istovremeno.

Pravilan izbor kriterijuma i adekvatno vrednovanje uticajnih parametara imaju presudan uticaj na uspešnost primenjene metode. Ako se pogreši u postavci problema ni "najsavršenija" metoda ne može dati pouzdane rezultate kao podlogu za izbor alternative. Određivanje težinskog faktora i dodeljivanje ocena mora biti u funkciji strateških ciljeva investitora. To je način da donosilac odluke iskaže svoje preferencije, odnosno da istakne kriterijume kojima pridaje najveći značaj.

6.0 METODA RANGIRANJA

6.1 VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA

Modeli za nalaženje optimuma jedne kriterijumske funkcije su obično samo aproksimacija realnih problema u kojima donosilac odluke mora da vodi računa o više ciljeva [32].

Složenost problema okruženja postavila je zahtev kreatorima matematičkih modela i metoda da pomognu donosiocu odluke u analizi i izboru rešenja na osnovu više kriterijuma koji se istovremeno razmatraju [5, 62].

Donosilac odluke implicitno zadržava slobodu da prihvati, promeni ili odbaci rešenje dobijeno na osnovu matematičkog modela optimizacije.

Metode koje od samog početka formiranja matematičkog modela, za određeni realni problem, vode računa o više ciljeva istovremeno razvijaju se u oblasti višekriterijumske optimizacije (VKO) [53]. Ovaj deo matematičkog programiranja svoj buran razvoj ima od kraja sedamdesetih godina prošlog veka [52].

Problemi VKO su, po prirodi, suštinski drugačiji u odnosu na probleme jednokriterijumske optimizacije. Svi faktori koji utiču na odluku, odnosno svi ishodi koje bi imalo eventualno rešenje, posmatraju se kao kriterijumi čije vrednosti treba da budu optimalne. Dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično ili potpuno konfliktni [64].

Razmatrani kriterijumi mogu po svojoj prirodi biti veoma raznorodni, izraženi u različitim mernim jedinicama, od novčanih jedinica, preko jedinica fizičkih veličina, do verovatnoća ili subjektivnih procena datih po nekoj skali koja se formira za konkretni problem. Sve ovo ukazuje da se konačno rešenje ne može odrediti bez učešća donosioca odluke [50].

Zadatke višekriterijumske optimizacije u slučajevima kada se razmatraju važne odluke, kao što su kapitalna ulaganja u opremu, karakteriše relativno veliki broj kriterijuma. Što je broj kriterijuma veći, zadaci analize su složeniji i teži.

Kada u odlučivanju učestvuje veći broj pojedinaca ili grupa, svi oni favorizuju svoje sisteme vrednosti, odnosno kriterijume koji najbolje oslikavaju interese grupe kojoj pripadaju. Radi efikasnijeg analiziranja odluke i pronalaženja pogodnog rešenja kriterijumi se grupišu. Uobičajene su sledeće grupe kriterijuma [52]:

- ekonomski
- tehnički
- tehnološki
- socijalni
- ekološki

Prema nameri donosioca odluke, odnosno prema problemu koji treba da reši, višekriterijumski zadaci se klasifikuju u sledeće tri grupe [52]:

- zadaci višekriterijumske optimizacije kojima se rešavaju problemi određivanja podskupa rešenja koja zadovoljavaju određene uslove i/ili izbora jednog rešenja iz ovog podskupa
- zadaci višekriterijumskog ili višeatributnog rangiranja kojima se rešavaju problemi određivanja potpunog ili delimičnog redosleda, rang liste, rešenja koja pripadaju konačnom i prebrojivom skupu
- zadaci višekriterijumske ili višeatributne selekcije kojima se rešavaju problemi izbora određenog broja rešenja koja pripadaju konačnom i prebrojivom skupu

Najčešće se koriste zadaci prve grupe. Većina bitnih osobina problema i osnovnih pristupa rešavanju u suštini su ista za sve tri grupe problema. Koristi se notacija i terminologija [52]:

$x = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_n)$ - rešenje, vektor upravljačkih promenljivih,
promenljiva odluke, alternativa ili odluka

D - dopustivi skup ili skup dopustivih rešenja

$f_k : R^n \rightarrow R$ - kriterijumska funkcija ili funkcija cilja, $k = 1, \dots, p$

$g_i : R^n \rightarrow R$ - funkcija ograničenja, $i = 1, \dots, m$

Pretpostavka da sve funkcije kriterijuma VKO trebaju minimum, ne ograničava primenljivost ovog modela jer se zadatak u kome neku od funkcija treba maksimizovati, prevodi u zadatak minimizacije negativne vrednosti te kriterijumske funkcije.

Prvi korak u VKO jeste ispitivanje da li u dopustivom skupu postoje rešenja koja daju maksimalne vrednosti za svaku kriterijumsku funkciju ponaosob. Određivanje tih rešenja x^{k*} , $k = 1, \dots, p$, postiže se rešavanjem odgovarajućih pojedinačnih optimizacionih zadataka.

U praksi su retki slučajevi kada postoji savršeno rešenje zadatka VKO. Razlike u kriterijumima, a pogotovu njihova potpuna ili delimična konfliktnost, predstavljaju suštinu problema VKO. Zato je koncept savršenog rešenja veoma ograničenog teorijskog i praktičnog značaja [50, 51].

Donosilac odluke treba na kraju da usvoji neko rešenje. Rešenje koje prihvati donosilac odluke naziva se najbolje ili preferirano rešenje. Zadatak VKO je da pomogne donosiocu odluke da izabere rešenje koje smatra najboljim u datom problemu. Zato se napori ka rešavanju postavljenog višekriterijumskog problema često nazivaju višekriterijumska analiza.

VKO, po pravilu, nemaju savršeno rešenje. Ne postoji rešenje koje je najbolje po svim kriterijuma istovremeno. Nema opravdanja da se za neko rešenje kaže da je optimalno. Zato se u VKO koristi novi koncept za ocenu valjanosti rešenja, koji se naziva koncept Pareto optimalnosti [52].

Osnovni pojam u konceptu Pareto optimalnosti je dominantno rešenje koje se još naziva i efikasno, dominirajuće, nedominirano, Pareto optimalno rešenje ili Pareto optimum zadatka VKO.

U dopustivom skupu ne postoji rešenje koje bi bilo bolje od dominantnog bar po jednom kriterijumu. To znači da bi poboljšavanje bar jednog kriterijuma, u odnosu na dominantno rešenje, bilo praćeno pogoršavanjem nekog od drugih kriterijuma.

Značaj koncepta Pareto optimalnosti sastoji se u tome što racionalni donosilac odluke neće birati rešenje koje nije dominantno. Donosilac odluke će izabrati najbolje rešenje na osnovu vrednosti kriterijuma.

Zavisno od toga kako se i kada donosilac odluke uključuje u rešavanje problema, razlikuju se tri osnovna pristupa, odnosno tri grupe metoda rešavanja [52]:

- aposteriorni pristup
- apriorni pristup
- interaktivni i kooperativni pristup

U aposteriornom pristupu donosilac odluke se uključuje u analizu i rešavanje svog problema posle određivanja skupa dominantnih rešenja, dakle, aposteriori. On sam treba da izabere najbolje rešenje. Zadatak analitičara je da iz dopustivog skupa izdvoji podskup dominantnih rešenja.

Ovaj pristup je više teorijskog nego praktičnog značaja. Postoje dva osnovna razloga za to. Prvi je taj što je izdvajanje podskupa dominantnih rešenja analitički često nerešiv problem. Za izvesne zadatke diskretne optimizacije i za višekriterijumsko linearno programiranje to je, u principu, moguće uraditi, ali prilično teško. Drugi razlog je to što podskup dominantnih rešenja može da bude veoma širok (velik ili beskonačan broj elemenata skupa), tako da donosilac odluke ne može lako da odabere rešenje.

U apriornom pristupu donosilac odluke treba unapred, pre rešavanja zadatka VKO, da iskaže svoj odnos prema kriterijumima. Ovo može da se uradi utvrđivanjem prioriteta ili hijerarhije kriterijuma, dodeljivanjem težina pojedinim kriterijumima, određivanjem relativnih odnosa između svaka dva kriterijuma, ili na neki drugi način. Na osnovu toga analitičar treba rešavanjem zadatka da predloži donosiocu odluke jedno rešenje koje najviše odgovara njegovim iskazanim preferencijama.

Nedostatak ovog pristupa je u tome što donosilac odluke teško može, u početku, da precizno odredi svoj stav prema kriterijumima, naročito na načine koji zahtevaju određeni matematički model i metod. On se po pravilu protivi da unapred eksplicitno kaže kakav odnos između kriterijuma postoji. Izvesno je da on rešenje traži u skupu dominantnih rešenja. Analizom rešenja za razne skupove težinskih koeficijenata, donosilac odluke može da prepozna međusobni odnos kriterijuma i rešenja i da dobije bolji uvid u suštinu problema.

Apriorni pristup je teorijski najviše razmatran i praktično najčešće primenjivan. Razvijeno je puno metoda apriorne VKO. Neke od njih su prilično jednostavne i to im daje veliku prednost za praktične primene u posebnim situacijama.

Interaktivni pristup obuhvata metode koje kombinuju apriorni i aposteriorni pristup sa aktivnim učešćem donosioca odluke. Pristup se zasniva na neprekidnom korišćenju računara u fazi odlučivanja. Savremeni softverski alati treba da pruže donosiocu odluke snažnu podršku u eksperimentisanju sa različitim skupovima svojih preferenci. Jednostavno i brzo obavljanje raznovrsnih analiza treba da olakša donosiocu odluke konačni izbor.

Interaktivne metode podrazumevaju intenzivno korišćenje ekspertnih sistema i sistema zasnovanih na znanju. Ovi sistemi bi trebalo da sadrže sistematizovana znanja o ranijim rešavanjima sličnih zadataka i da ih na inteligentan način koriste da bi pomogla donosiocu odluke. Ovakvi pristupi podrazumevaju saradnju donosioca odluke i računara. Zato se nazivaju i kooperativnim.

Interaktivni i kooperativni pristupi su moderni i predstavljaju najveći izazov. Problemi koje treba pritom rešavati interesantni su i sa stanovišta veštačke inteligencije i softverske implementacije. Kooperacijom donosioca odluke i računara trebalo bi da se otkrije struktura njegovih odnosa prema kriterijumima, tzv. preferentna struktura, ili struktura preferencija donosioca odluke. U tome se pojavljuju problemi za čija su rešavanja potrebna znanja i istraživanja u oblastima psiholoških i socioloških nauka.

Matematička istraživanja zadataka VKO ostaju pretežno u okvirima apriornih i aposteriornih pristupa. U ovom radu će se primeniti metoda apriornih pristupa.

6.2 DODELJIVANJE TEŽINA KRITERIJUMIMA

Utvrđivanje prioriteta ili hijerarhije kriterijuma, postignuto je dodeljivanjem težina pojedinim kriterijumima, odnosno određivanjem relativnih odnosa među njima. Na osnovu toga analitičar definiše svoj odnos prema kriterijumima. To je postupak koji najviše govori o njegovim iskazanim preferencijama.

Ocene alternativa u okviru svakog kriterijuma date su na više načina. U konkretnom slučaju vrednosti nekih alternativa izražene su u različitim mernim jedinicama:

- različite novčane jedinice (ekonomski kriterijumi)
- godišnja potrebna energije za grejanje (kWh/a), (tehnički kriterijum)
- koeficijent energetske sanacije (kWh/(a EUR)) (tehno-ekonomski kriterijum)
- količina emitovanog CO₂ (tona), (ekološki kriterijum)

Analizom rešenja za razne skupove težinskih koeficijenata, donosilac odluke može da prepozna međusobni odnos kriterijuma i rešenja i da dobije bolji uvid u suštinu problema.

Dodeljivanje težina kriterijumima posebno otežava činjenica da se radi o uticajima koji će u životnom veku projekta biti izloženi promenama koje je teško predvideti. Ovde se prvenstveno misli na eksploatacioni kriterijum. Kretanje cene goriva teško je predvideti. Problem nastaje pri pokušaju da se kvantifikuju ti uticaji, odnosno da se dodeli težina kriterijumima koji ih inkorporiraju.

Jedna od najčešće korišćenih ekspertnih metoda za prognoziranja neizvesnih događaja je Delfi. Radi se o metodološki organizovanom korišćenju znanja eksperata u cilju predviđanja budućih stanja odnosno fenomena.

Delfi metoda proučava i daje prognoze o neizvesnim ili mogućim budućim situacijama za koje nije moguće izvesti objektivne statističke zakonitosti, formirati model, ili primeniti neku formalnu metodu. To su fenomeni koje je veoma teško kvantifikovati jer su uglavnom kvalitativne prirode, odnosno za koje ne postoji dovoljno statističkih podataka na osnovu kojih bi se izvršilo proučavanje.

Delfi metoda je nastala ranih šezdesetih godina prošlog veka u američkoj korporaciji RAND. Postoje razne modifikacije ove metode, ali postoje tri osnovne zajedničke karakteristike [72]:

- grupa kompetentnih učesnika
- ponderisanje učesnika, odnosno procena verovatnoće iskaza
- višefazni proces na osnovu jedinstvenog polaznog materijala

Metoda u potpunosti odbacuje mogućnost konferencijskog okupljanja eksperata i eliminiše eventualnu mogućnost da mišljenje najglasnijeg učesnika u panelu odnese

prevagu nad kvalitetnijim razmišljanjima eksperata koji nemaju takvu mogućnost artikulacije. Otvorena diskusija potencijalno omogućava afirmaciju predviđanja grupe ili pojedinaca zbog njihove društvene pozicije ili sposobnosti da dobro argumentuju i odbrane svoje mišljenje. Postoji čitav niz različitih faktora koji na debatama mogu uticati na objektivnost procene.

Delfi metodom, konferencijska sala se zamenila stvarnim ekspertskim konsenzusom do koga se dolazi organizovanim i sistematskim usaglašavanjem. Polazna tačka metode je definisanje problema za koji se traži prognoza. Nakon definisanja problema, formira se grupa eksperata koji će učestvovati u prognoziranju. Jasno je da je osnovni preduslov izbor najkompetentnijih eksperata za datu oblast.

Grupa od deset eksperata različitih profila, koji su činili grupu, u konkretnom problemu, formirana je na bazi njihove kompetentnosti. Kontakti sa ekspertima obavljani su putem serije upitnika. Preko upitnika od njih su se tražile prognoze relativne težine kriterijuma u kontekstu predviđanja kretanja relevantnih uticaja u životnom veku projekta. U startu im je objašnjeno da je anonimnost zagarantovana, njihova, kao i dobijenih prognoza.

Prva serija upitnika koja je dostavljena ekspertima sadrži neophodne informacije, a od njih se tražilo da daju svoju prognozu relativne težine kriterijuma koja mora biti potkrepljena odgovarajućim argumentima. Na bazi dobijenih prognoza, pristupa se izračunavaju prosekne prognoze koja predstavlja srednju vrednost pojedinačnih prognoza, kao i variranje prognoza oko srednje vrednosti koje predstavlja meru preciznosti prognoza.

Druga serija upitnika koja je poslata ekspertima sadržala je izračunatu prosečnu prognozu, meru preciznosti prognoza i ekstremne prognoze sa njihovim razlozima. Od eksperata se tada tražilo da preispitaju svoju prvobitnu prognozu, urade eventualnu korekciju i dostave mišljenje o ekstremnim prognozama zajedno sa odgovarajućom argumentacijom.

Ovakav proces se obavljao u više koraka – konkretno četiri, a konačna prognoza dobijena je kao srednja vrednost prognoza iz poslednje serije upitnika. Kao prosečna vrednost uzima se medijana koja predstavlja onu vrednost prognoze za koju je broj eksperata čija je prognoza veća od te vrednosti jednak broju eksperata čija je prognoza

manja od te vrednosti. Variranje prognoze oko srednje vrednosti predstavlja se u obliku granica – kvartila. Donji kvartil predstavlja onu prognozu za koju broj eksperata čije su prognoze manje od te vrednosti iznosi 25% ukupnog broja eksperata. Gornji kvartil predstavlja onu prognozu za koju broj eksperata čije su prognoze veće od te vrednosti iznosi 25% ukupnog broja eksperata.

Rezultati primene Delfi metode u oceni težine kriterijuma nakon četvrtog kruga upitnika prikazani su u tabeli 17.

Uočljivo je da se deo ekspertata u startu slagao oko podele težine kriterijuma da cca 50% pripada ekonomskim, 50 ostalim kriterijumima. Deo eksperata je imao stav da je ekološki kriterijum po težini jednak ekonomskim. Raspodela unutar ekonomskih kriterijuma, u startu, nije imala veliku disperziju. Uložen je veliki napor u komunikaciji sa ekspertima da bi se postigao konsenzus.

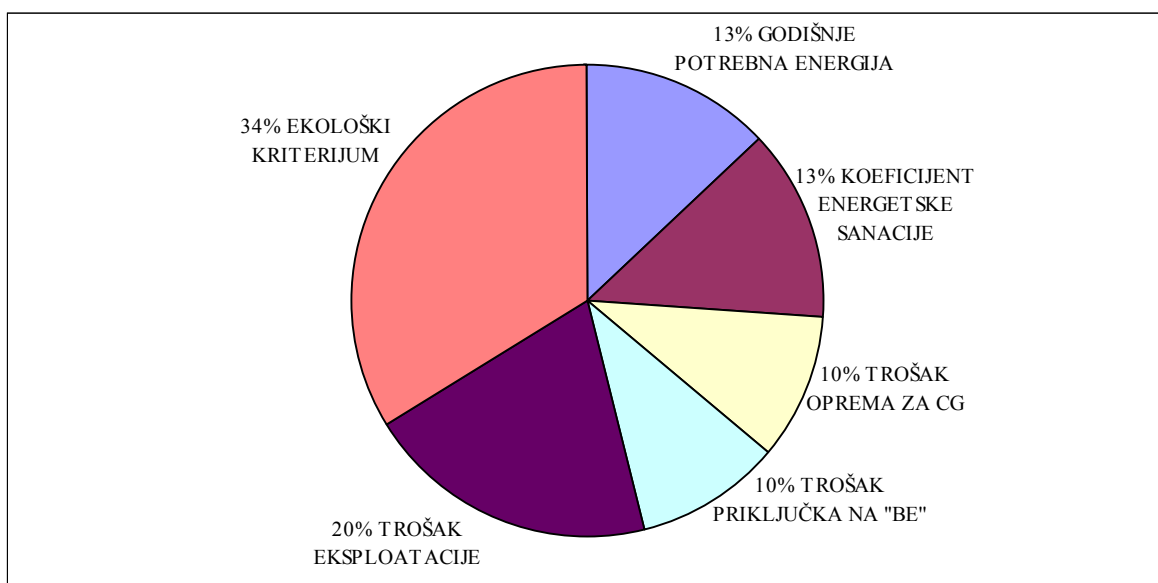
Tabela 17. Pregled ekspertskih ocena relativne težine upoređivanih alternativa

Ekspert broj	KRITERIJUMI (OCENA TEŽINE)					
	Godišnje potrebna energija	Koeficijent energetske sanacije	EKONOMSKI KRITERIJUMI			Ekološki kriterijum
			Trošak opreme za CG	Trošak priključka na "BE"	Trošak eksploatacije	
	Kriterijum 1	Kriterijum 2	Kriterijum 3	Kriterijum 4	Kriterijum 5	Kriterijum 6
1	10	12	11	10	19	38
2	10	10	10	11	19	40
3	16	14	10	10	20	30
4	10	15	10	11	19	35
5	15	13	12	11	20	29
6	15	12	9	11	23	30
7	15	10	10	10	20	35
8	10	15	10	9	21	35
9	15	15	10	9	16	35
10	15	15	10	10	20	30
kon.	13	13	10	10	20	34

Najteže je bilo usaglasiti odnos ekološkog i ekonomskih kriterijuma. Stav eksperata je da težina ekološkog kriterijuma mora biti značajna i da se očekuje njen daljnji rast. Smanjenje emisija CO₂ ima veliki uticaj na najširi dijapazon ljudskih aktivnosti.

Kriterijum koji je dobio najveću težinu u okviru ekonomskih kriterijuma je eksploatacioni. U startu mu je dodeljen relativno velika težina. Smatra se da je takav stav posledica traumatskih sećanja, ali i najnovijih iskustava. Poremećaji u snabdevanju gorivom i u formiranju cena energenata su prisutni kako na lokalnom, tako i na globalnom nivou. Oni su najčešće posledica špekulativnih aktivnosti koje su najrazličitije motivisane. Posledica takvih iskustava je stav da se eksploatacioni trošak treba posebno naglasiti dodeljenom težinom. Eksploatacioni trošak je prisutan sve vreme životnog veka projekta.

Rezultati primene Delfi metode u oceni težine kriterijuma prikazani su u dijagramu na slici 75.



Slika 75 Dijagram težina kriterijuma

6.3 DODELJIVANJE OCENA U OKVIRU KRITERIJUMIMA

Pre početka primene metode rangiranja odabrani su kriterijumi izbora alternative, ponderisani, odnosno težinski kvantifikovani kriterijumi i pojedini uticajni elementi. Znači, najpre je svakom pojedinačnom uticajnom elementu dodeljen određeni težinski faktor, koji odražava njegov relativni značaj u odnosu na druge elemente i na celokupan skup elemenata. Određivanje težinskog faktora svakom pojedinačnom elementu je od presudnog značaja za izbor projekta. Određivanje težinskog faktora treba da odražava preferencije investitora. Veći težinski faktor dobija onaj element koji više doprinosi ostvarivanju definisanih ciljeva.

Nakon određivanja težinskog faktora za kriterijume i ocenjivanja uticajnih faktora (alternativa u okviru kriterijuma), pristupa se definisanju zahteva za maksimumom ili minimumom, po ustanovljenim kriterijumima. Ako se element definiše kao maksimalan, projekat je bolji, ako je njegova vrednost veća. Međutim, ako je zahtev za minimalnim, onda njegova veća vrednost znači da je projekat lošiji. Zbog toga se, pri utvrđivanju konačnog broja poena kod ovih elemenata, mora raditi sa količnikom zbira vrednosti svih elemenata koji se rangiraju i vrednosti i -tog elementa, tako postizemo da manji iznos donosi više poena.

Pravilan izbor kriterijuma i adekvatno vrednovanje uticajnih parametara, imaju presudan uticaj na uspešnost primenjene metode. Ako se pogreši u postavci problema ni "najsavršenija" metoda ne može dati pouzdane rezultate kao podlogu za odabir alternative. Određivanje težinskog faktora i dodeljivanje ocena mora biti u funkciji strateških ciljeva investitora. To je način da donosilac odluke iskaže svoje preferencije, odnosno da istakne kriterijume kojima pridaje najveći značaj.

Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za posmatrane objekte prikazane su tabelama od 18. do 27.

Tabela 18. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 1

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
	max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	235.866	0,00	54.955	64.577	2.501	1.557
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	227.859	0,21	53.370	61.885	2.426	1.512
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	138.311	2,81	48.194	53.761	1.856	927
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	121.192	1,46	42.571	34.424	1.542	836
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	71.048	1,51	35.914	23.248	1.145	534

Tabela 19. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 2

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
	max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	155.192	0,00	27.042	34.517	1.490	1.024
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	149.859	0,22	26.476	33.580	1.451	994
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	84.936	3,39	23.002	26.327	1.024	569
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	72.131	1,72	20.767	20.368	885	499
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	46.365	1,62	18.247	15.861	695	346

Tabela 20. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 3

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	93.704	0,00	16.578	22.007	852	618
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	91.084	0,21	16.280	21.268	829	604
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	49.505	3,79	14.204	17.452	565	332
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	41.344	2,03	12.734	12.862	466	285
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	25.199	1,91	10.874	10.894	357	188

Tabela 21. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 4

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	244.237	0,00	33.571	44.441	2.219	1.612
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	239.810	0,21	32.632	42.480	2.171	1.587
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	141.279	3,07	29.217	35.967	1.577	946
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	119.281	2,07	25.413	24.266	1.322	819
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	80.701	1,93	22.386	20.011	1.068	592

Tabela 22. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 5

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	189.938	0,00	35.465	40.849	1.800	1.254
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	184.382	0,22	34.513	39.126	1.752	1.222
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	109.651	3,59	30.834	32.667	1.282	733
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	94.575	1,85	27.463	23.681	1.096	648
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	63.238	1,77	24.543	18.048	864	459

Tabela 23. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 6

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	148.755	0,00	27.195	34.655	1.492	982
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	144.033	0,21	26.491	33.251	1.450	955
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	82.346	3,46	23.200	28.389	1.068	551
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	68.319	2,27	20.673	19.612	890	471
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	47.030	2,05	18.418	16.233	737	346

Tabela 24. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 7

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	96.886	0,00	21.516	28.485	1.031	639
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	92.570	0,21	20.687	27.321	995	615
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	49.111	3,37	19.042	24.522	733	330
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	41.362	1,52	16.732	17.300	605	289
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	26.735	1,39	13.776	13.483	482	204

Tabela 25. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 8

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.
A ₁	zid 38cm, zap. trake	210.285	0,00	43.038	52.637	2.276	1.388
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	202.418	0,21	42.050	50.467	2.210	1.344
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	111.617	3,44	37.323	41.788	1.633	749
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	95.416	1,64	33.701	27.376	1.378	661
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	63.901	1,51	30.024	22.177	1.150	477

Tabela 26. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 9

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	
A ₁	zid 38cm, zap. trake	82.872	0,00	14.433	21.239	796	547
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	80.476	0,22	14.128	20.545	775	533
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	43.224	3,39	13.075	18.257	552	290
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	35.366	1,92	11.156	13.375	451	245
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	23.402	1,73	9.706	11.000	359	176

Tabela 27. Ocene težine kriterijuma i ocene za uticajne faktore u okviru kriterijumima za zgradu 10

Oznaka alternative	KRITERIJUMI						
		Godišnja potrebna energija (kWh/a)	Koef. en. sanacije (kWh/(aEUR))	Trošak opreme za CG (EUR)	Trošak priključ. na "BE" (EUR)	Trošak eksploat. (1.000din.)	Ekološki kriterijum (tona CO ₂)
	Značaj kriterijuma	13	13	10	10	20	34
max/min	min.	max.	min.	min.	min.	min.	
A ₁	zid 38cm, zap. trake	223.849	0,00	40.549	45.356	2.107	1.477
A ₂	zid 38cm, proz. 1,5	216.686	0,21	38.715	43.681	2.048	1.437
A ₃	izol.5cm, proz. 2,3	124.332	3,47	33.655	36.468	1.478	833
A ₄	izol.10cm, proz. 1,5	108.778	1,72	30.727	25.881	1.271	749
A ₅	izol.20cm, proz. 1,1	72.358	1,63	28.133	20.124	1.009	533

6.4 IZRAČUNAVANJE METODE RANGIRANJA

Izbor metoda i kriterijuma pri izboru projekata, početni je korak i često od presudne važnosti za uspešnu selekciju. Mnoge od metoda ne daju željene rezultate zbog nekontinuiranog karaktera promenljivih. Problem se uspešno rešava pomoću kombinovanja odgovarajućih metoda i kriterijuma. Metoda rangiranja projekata omogućuje da se izbor projekta izvrši na osnovu više uticajnih elemenata istovremeno. Kod ove metode različiti projekti, ili različite varijante jednog projekta upoređuju se između sebe po unapred izabranim uticajnim elementima.

Metoda rangiranja projekata sprovodi se u nekoliko specifičnih faza i aktivnosti. Prvo se određuje skup projekata koji se podvrgavaju selekciji. U konkretnom slučaju potrebno je izabrati jednu od pet alternativa. Alternative su isključivi projekti, prihvata se jedan projekat, a ostali se odbacuju. Svaki od posmatranih objekata je analiziran kroz sledeća alternativna rešenja:

- Alternativa A_1 : neizolovan objekat, prozor kvaliteta 1, na prozor se stavljaju zaptivne trake zbog smanjenja ventilacionih gubitaka
- Alternativa A_2 : neizolovan objekat, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A_3 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1
- Alternativa A_4 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 10 cm, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A_5 : izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 20 cm, prozor kvaliteta 3, izolovani zidovi prema negrejanim prostorijama izolacijom debljine 5 cm

Nakon određivanja skupa projekata sledi određivanje i definisanje uticajnih elemenata za selekciju i izbor projekata. Ova faza celokupnog postupka je odlučujuća za uspešnu primenu metode rangiranja projekata. Od pravilno određenih uticajnih elemenata zavisi i valjanost selekcije. U konkretnom slučaju kriterijumi za izbor najpovoljnije alternative su inženjersko-ekonomski (trošak nabavke i ugradnje opreme za centralno

grejanje objekta, (EUR), trošak priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana", (EUR), i eksploatacioni trošak, (dinara)), tehnički (godišnja potrebna energija za grejanje objekta, (kWh/a)), tehno-ekonomski (koeficijent energetske sanacije objekta, (kWh/(aEUR))) i ekološki kriterijum, (tona CO₂).

Posle definisanja kriterijuma, vrši se njihovo ponderisano odnosno težinsko kvantifikovanje. Alternative u okviru kriterijuma kvantifikovane su svojom vrednošću. Određivanje težinskog faktora svakom pojedinačnom elementu je od presudnog značaja za izbor projekata. Definisane hijerarhije kriterijuma, postignuto je dodeljivanjem težina pojedinim kriterijumima, odnosno određivanjem relativnih odnosa među njima što treba da iskaže preferencije analitičara.

Nakon određivanja težinskog faktora za kriterijume i ocenjivanja uticajnih faktora (alternativa u okviru kriterijuma), pristupa se definisanju zahteva za maksimumom ili minimumom po ustanovljenim kriterijumima.

Razmatrane alternative, definisani kriterijumi, ocene težine kriterijuma, ocene za uticajne faktore na alternative u okviru kriterijumima, definisani zahtevi za maksimumom ili minimumom prikazani su u tabelama od 18 do 27.

Izračunavanje broj poena po kriterijumima za svaku alternativu urađeno je na osnovu jednačine (19), što predstavlja osnov za određivanje konačnog broja poena, a time i konačan poredak alternativa [19].

$$P_{ij} = n * t_j * \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^5 S_{ij}} \quad (19)$$

gde je:

S_{ij} - kvantifikovana vrednost za alternativu za i-ti projekat,

t_j - težinski faktor,

n – broj projekata

P_{ij} - poeni po j-tom elementu za i-ti projekat

Kada kriterijumska funkcija ima zahtev za minimumom broj poena se računa pomoću jednačine:

$$P_{ij} = n * t_j * \frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}} \quad (20)$$

gde je:

$$V_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^5 S_{ij}}{S_{ij}} \quad (21)$$

6.4.1 KRITERIJUM GODIŠNJA POTREBNA ENERGIJA ZA GREJANJE OBJEKTA

Godišnje potrebna energija je tehnički kriterijum čije su vrednosti izražene u (kWh/a). Da bi se kvantifikovala vrednost i-tog elemenata (S_{ij}) računata je vrednost $Q_{H,nd}$ za svaku zgradu za svaku alternativu. Izračunavanje broja poena po alternativama na osnovu godišnje potrebne energije za grejanje objekta prikazano je u tabeli 28. Podaci za godišnje potrebnu energiju za grejanje za posmatrane objekte uzeti su iz tabela 18. do 27. Podaci o težinskom faktoru (13) uzeti su iz tabele 17.

Određivanje broja poena kod funkcija koje imaju zahtev za minimumom, umesto sa kvantifikovanom vrednošću i-tog elemenata (S_{ij}), radi se sa količnikom zbira vrednosti svih elemenata koji se rangiraju i vrednosti i-tog elementa (V_{ij}). Na ovaj način se postiže da manje vredna alternativa donosi manje poena. Veći iznos godišnje potrebne energije za grejanje zgrade donosi manje poena alternativni po ovom kriterijumu.

Ukupan broj poena svakoj alternativni pripada, na osnovu iznosa godišnje potrebne energije za grejanje objekta, odnosno količnika V_{ij} . Težinski faktor i broj alternativa su u ovom računu konstante jer su isti za sve projekte i za sve posmatrane objekte.

Tabela 28. Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma godišnje potrebna energija za grejanje objekta

Zgrada	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t _j)	S _i	V _i	$\frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}}$	P _i
		3	4	5	6	7	8
1	A ₁	5	13	235.866	3,3675	0,1110	7,22
	A ₂	5	13	227.859	3,4858	0,1149	7,47
	A ₃	5	13	138.311	5,7427	0,1893	12,31
	A ₄	5	13	121.192	6,5538	0,2161	14,05
	A ₅	5	13	71.048	11,1794	0,3686	23,96
	Σ			794.275	30,3293	1,0000	65,00
2	A ₁	5	13	155.192	3,2765	0,1068	6,94
	A ₂	5	13	149.859	3,3931	0,1106	7,19
	A ₃	5	13	84.936	5,9866	0,1952	12,69
	A ₄	5	13	72.131	7,0494	0,2298	14,94
	A ₅	5	13	46.365	10,9669	0,3575	23,24
	Σ			508.484	30,6726	1,0000	65,00
3	A ₁	5	13	93.704	3,2105	0,1009	6,56
	A ₂	5	13	91.084	3,3028	0,1038	6,75
	A ₃	5	13	49.505	6,0769	0,1911	12,42
	A ₄	5	13	41.344	7,2765	0,2288	14,87
	A ₅	5	13	25.199	11,9383	0,3754	24,40
	Σ			300.836	31,8049	1,0000	65,00
4	A ₁	5	13	244.237	3,3791	0,1134	7,37
	A ₂	5	13	239.810	3,4415	0,1155	7,50
	A ₃	5	13	141.279	5,8417	0,1960	12,74
	A ₄	5	13	119.281	6,9190	0,2321	15,09
	A ₅	5	13	80.701	10,2267	0,3431	22,30
	Σ			825.309	29,8081	1,0000	65,00
5	A ₁	5	13	189.938	3,3789	0,1140	7,41
	A ₂	5	13	184.382	3,4807	0,1174	7,63
	A ₃	5	13	109.651	5,8530	0,1974	12,83
	A ₄	5	13	94.575	6,7860	0,2289	14,88
	A ₅	5	13	63.238	10,1487	0,3423	22,25
	Σ			641.784	29,6473	1,0000	65,00
6	A ₁	5	13	148.755	3,2973	0,1089	7,08
	A ₂	5	13	144.033	3,4053	0,1125	7,31
	A ₃	5	13	82.346	5,9564	0,1968	12,79
	A ₄	5	13	68.319	7,1793	0,2372	15,42
	A ₅	5	13	47.030	10,4291	0,3446	22,40
	Σ			490.482	30,2674	1,0000	65,00

7	A ₁	5	13	96.886	3,1652	0,1001	6,51
	A ₂	5	13	92.570	3,3128	0,1048	6,81
	A ₃	5	13	49.111	6,2443	0,1976	12,84
	A ₄	5	13	41.362	7,4142	0,2346	15,25
	A ₅	5	13	26.735	11,4705	0,3629	23,59
	Σ			306.664	31,6070	1,0000	65,00
8	A ₁	5	13	210.285	3,2510	0,1062	6,90
	A ₂	5	13	202.418	3,3774	0,1103	7,17
	A ₃	5	13	111.617	6,1248	0,2001	13,00
	A ₄	5	13	95.416	7,1648	0,2340	15,21
	A ₅	5	13	63.901	10,6984	0,3494	22,71
	Σ			683.637	30,6164	1,0000	65,00
9	A ₁	5	13	82.872	3,2018	0,1017	6,61
	A ₂	5	13	80.476	3,2971	0,1047	6,81
	A ₃	5	13	43.224	6,1387	0,1950	12,68
	A ₄	5	13	35.366	7,5027	0,2383	15,49
	A ₅	5	13	23.402	11,3382	0,3602	23,41
	Σ			265.341	31,4786	1,0000	65,00
10	A ₁	5	13	223.849	3,3326	0,1113	7,23
	A ₂	5	13	216.686	3,4428	0,1150	7,47
	A ₃	5	13	124.332	6,0001	0,2004	13,02
	A ₄	5	13	108.778	6,8580	0,2290	14,89
	A ₅	5	13	72.358	10,3099	0,3443	22,38
	Σ			746.003	29,9434	1,0000	65,00

Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma godišnje potrebna energija za grejanje objekta pokazalo je da najveći broj poena (od 22,25 do 24,4, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangui je alternativa A₄, kod koje sa broj poena kreće u intervalu od 14,05 do 15,49 (zavisi od objekta). Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija. Objekat koji nije toplotno izolovan, smatra se neprihvatljivim zbog neracionalno velike potrošnje energije. Rezultati izračunavanja broja poena odražavaju preferencije analitičara, odnosno njegov odnos prema kriterijumima.

Ukupan broj poena za kriterijum, srazmeran je težinskom faktoru koji mu je dodeljen.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta samo na osnovu jednog kriterijuma, godišnje potrebna energija za grejanje objekta, prihvatila bi se alternativa A₅.

6.4.2 KRITERIJUM KOEFICIJENT ENERGETSKE SANACIJE

Koeficijent energetske sanacije je tehno-ekonomski kriterijum izražen u (kWh/(aEUR)). Vrednosti, k_{ES} , izračunate su za sve alternative posmatranih objekata i uzete su iz tabela 18. do 27, a podaci o broju alternativa i težinskom faktoru (13) uzeti su iz tabele 17.

Kriterijum koeficijent energetske sanacije ima zahtev za maksimumom ustanovljenog kriterijuma. Alternative su ocenjene izračunatom vrednosti koeficijenta (S_{ij}). Povoljnija je ona alternativa koja omogućuje veću uštedu energije za uloženu novčanu jedinicu. Veća vrednost, k_{ES} , govori da je alternativa bolja i donosi više poena alternativu kojoj pripada.

Izračunati broj poena po alternativama na osnovu koeficijenta energetske sanacije prikazan je u tabeli 29..

Tabela 29. Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma koeficijent energetske Sanacije

Objekat	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t_j)	S_i	$\frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^5 S_{ij}}$	P_i
1	2	3	4	5	7	8
1	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0347	2,26
	A ₃	5	13	2,81	0,4694	30,51
	A ₄	5	13	1,46	0,2436	15,83
	A ₅	5	13	1,51	0,2523	16,40
	Σ			5,99	1,0000	65,00
2	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,22	0,0314	2,04
	A ₃	5	13	3,39	0,4878	31,71
	A ₄	5	13	1,72	0,2472	16,07
	A ₅	5	13	1,62	0,2335	15,18
	Σ			6,95	1,0000	65,00
3	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0268	1,74
	A ₃	5	13	3,79	0,4777	31,05
	A ₄	5	13	2,03	0,2552	16,59
	A ₅	5	13	1,91	0,2403	15,62

	Σ			7,94	1,0000	65,00
4	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0286	1,86
	A ₃	5	13	3,07	0,4224	27,46
	A ₄	5	13	2,07	0,2840	18,46
	A ₅	5	13	1,93	0,2650	17,23
	Σ			7,27	1,0000	65,00
5	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,22	0,0290	1,89
	A ₃	5	13	3,59	0,4835	31,43
	A ₄	5	13	1,85	0,2489	16,18
	A ₅	5	13	1,77	0,2386	15,51
	Σ			7,43	1,0000	65,00
6	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0266	1,73
	A ₃	5	13	3,46	0,4336	28,18
	A ₄	5	13	2,27	0,2835	18,43
	A ₅	5	13	2,05	0,2563	16,66
	Σ			7,99	1,0000	65,00
7	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0327	2,13
	A ₃	5	13	3,37	0,5191	33,74
	A ₄	5	13	1,52	0,2340	15,21
	A ₅	5	13	1,39	0,2141	13,92
	Σ			6,49	1,0000	65,00
8	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0312	2,03
	A ₃	5	13	3,44	0,5057	32,87
	A ₄	5	13	1,64	0,2411	15,67
	A ₅	5	13	1,51	0,2220	14,43
	Σ			6,80	1,0000	65,00
9	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,22	0,0297	1,93
	A ₃	5	13	3,39	0,4670	30,36
	A ₄	5	13	1,92	0,2650	17,23
	A ₅	5	13	1,73	0,2383	15,49
	Σ			7,26	1,0000	65,00
10	A ₁	5	13	0,00	0,0000	0,00
	A ₂	5	13	0,21	0,0302	1,96
	A ₃	5	13	3,47	0,4933	32,06
	A ₄	5	13	1,72	0,2445	15,89
	A ₅	5	13	1,63	0,2321	15,08
	Σ			7,04	1,0000	65,00

Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma koeficijent energetske sanacije pokazalo je da je on najveći kod alternative A_3 jer daje najpovoljniji odnos uštede energije i uložениh sredstava u energetsку sanaciju objekta. Broj poena za pomenutu alternativu kreće se od 27,46 (zgrada 4) do 33,74 (zgrada 7). Alternative A_4 i A_5 imaju sličan broj poena, ali je A_4 neznatno bolja kod svih zgrada, osim zgrade 1 gde im je redosled obrnut. Na kraju liste je alternativa A_1 , kao najnepovoljnija. Objekat koji nije toplotno izolovan smatra se neprihvatljivim.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta samo na osnovu jednog kriterijuma, koeficijenta energetske sanacije, prihvatila bi se alternativa A_3 za sve objekte.

6.4.3 KRITERIJUM TROŠAK OPREME ZA CENTRALNO GREJANJE

Prvi kriterijum je godišnja potrebna energija za grejanje, a drugi kriterijum, koeficijent energetske sanacije, delom inkorporira vrednosti godišnje potrebne energije. Trošak opreme za centralno grejanje formiran je na osnovu ukupnih gubitaka toplote. On predstavlja jedan od tri ekonomska kriterijuma čije vrednosti su izražene u (EUR). Trošak opreme je prisutan na početku životnog veka projekta. Potrebni podaci za metodu rangiranja uzeti su iz tabela 18. do 27.

Broj poena kod ovog kriterijuma određen je na bazi sledećeg:

- funkcija ima zahtev za minimumom
- kvantifikovane vrednosti troška opreme za centralno grejanje po alternativama, (S_{ij})
- vrednosti količnika (V_{ij})
- težinskog faktora, 10

Rezultati proračuna broja poena troška opreme za centralno grejanje objekta prikazani su u tabeli 30.

Tabela 30. Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma trošak opreme za centralno grejanje objekta

Objekat	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t _j)	S _i	V _i	$\frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}}$	P _i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A ₁	5	10	54.955	4,2763	0,1669	8,35
	A ₂	5	10	53.370	4,4033	0,1719	8,59
	A ₃	5	10	48.194	4,8762	0,1903	9,52
	A ₄	5	10	42.571	5,5203	0,2155	10,77
	A ₅	5	10	35.914	6,5436	0,2554	12,77
	Σ			235.003	25,6196	1,0000	50,00
2	A ₁	5	10	27.042	4,2724	0,1672	8,36
	A ₂	5	10	26.476	4,3637	0,1708	8,54
	A ₃	5	10	23.002	5,0227	0,1966	9,83
	A ₄	5	10	20.767	5,5632	0,2177	10,89
	A ₅	5	10	18.247	6,3318	0,2478	12,39
	Σ			115.533	25,5539	1,0000	50,00
3	A ₁	5	10	16.578	4,2629	0,1663	8,32
	A ₂	5	10	16.280	4,3409	0,1694	8,47
	A ₃	5	10	14.204	4,9755	0,1941	9,71
	A ₄	5	10	12.734	5,5495	0,2165	10,83
	A ₅	5	10	10.874	6,4990	0,2536	12,68
	Σ			70.670	25,6278	1,0000	50,00
4	A ₁	5	10	33.571	4,2661	0,1667	8,34
	A ₂	5	10	32.632	4,3889	0,1715	8,58
	A ₃	5	10	29.217	4,9020	0,1916	9,58
	A ₄	5	10	25.413	5,6357	0,2202	11,01
	A ₅	5	10	22.386	6,3976	0,2500	12,50
	Σ			143.220	25,5903	1,0000	50,00
5	A ₁	5	10	35.465	4,3090	0,1691	8,45
	A ₂	5	10	34.513	4,4279	0,1738	8,69
	A ₃	5	10	30.834	4,9561	0,1945	9,72
	A ₄	5	10	27.463	5,5644	0,2184	10,92
	A ₅	5	10	24.543	6,2266	0,2443	12,22
	Σ			152.817	25,4840	1,0000	50,00
6	A ₁	5	10	27.195	4,2647	0,1669	8,35
	A ₂	5	10	26.491	4,3779	0,1714	8,57
	A ₃	5	10	23.200	4,9989	0,1957	9,78
	A ₄	5	10	20.673	5,6100	0,2196	10,98
	A ₅	5	10	18.418	6,2970	0,2465	12,32
	Σ			115.978	25,5486	1,0000	50,00

7	A ₁	5	10	21.516	4,2644	0,1662	8,31
	A ₂	5	10	20.687	4,4353	0,1728	8,64
	A ₃	5	10	19.042	4,8185	0,1878	9,39
	A ₄	5	10	16.732	5,4836	0,2137	10,68
	A ₅	5	10	13.776	6,6605	0,2595	12,98
	Σ			91.752	25,6622	1,0000	50,00
8	A ₁	5	10	43.038	4,3249	0,1699	8,49
	A ₂	5	10	42.050	4,4265	0,1739	8,69
	A ₃	5	10	37.323	4,9872	0,1959	9,79
	A ₄	5	10	33.701	5,5232	0,2169	10,85
	A ₅	5	10	30.024	6,1995	0,2435	12,17
	Σ			186.135	25,4614	1,0000	50,00
9	A ₁	5	10	14.433	4,3303	0,1693	8,47
	A ₂	5	10	14.128	4,4237	0,1730	8,65
	A ₃	5	10	13.075	4,7798	0,1869	9,34
	A ₄	5	10	11.156	5,6023	0,2191	10,95
	A ₅	5	10	9.706	6,4391	0,2518	12,59
	Σ			62.497	25,5752	1,0000	50,00
10	A ₁	5	10	40.549	4,2363	0,1663	8,31
	A ₂	5	10	38.715	4,4370	0,1742	8,71
	A ₃	5	10	33.655	5,1041	0,2004	10,02
	A ₄	5	10	30.727	5,5905	0,2195	10,97
	A ₅	5	10	28.133	6,1059	0,2397	11,98
	Σ			171.779	25,4739	1,0000	50,00

Kada se uradi analiza rezultata izračunatog broja poena na osnovu kriterijuma trošak opreme za grejanje objekta može se konstatovati je da najveći broj poena (od 11,98 do 12,98, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangui, sa manjim brojem poena (od 10,77 do 11,01), je alternativa A₄. Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija. Kada se računa broj poena dolaze do izražaja preferencije analitičara, njegov odnos prema kriterijumima. Objekat koji nije toplotno izolovan, zahteva najviši iznos sredstava za opremu za centralno grejanje i smatra se neprihvatljivim.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta samo na osnovu jednog kriterijuma, trošak opreme za centralno grejanje objekta, prihvatila bi se alternativa A₅.

6.4.4 KRITERIJUM TROŠAK PRIKLJUČKA NA SISTEM "BEOGRADSKIH ELEKTRANA"

Trošak priključka na sistem "BE" je ekonomski kriterijum, prikazan u (EUR). Izračunava se na bazi instalirane snage zgrade i cenovnika distributera tople vode. Podaci za izračunavanje broja poena po alternativama uzeti su iz tabela 18. do 27.

Broj poena kod ovog kriterijuma određen je na bazi sledećeg:

- funkcija ima zahtev za minimumom
- kvantifikovane vrednosti troška priključka na sistem "BE" po alternativama, (S_{ij})
- vrednosti količnika (V_{ij})
- težinskog faktora, 10

Rezultati proračuna broja poena troška priključka objekta na sistem "BE" prikazani su u tabeli 30.

Tabela 31. Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma trošak priključka objekta na sistem "BE"

Objekat	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t_j)	S_i	V_i	$\frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}}$	P_i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A ₁	5	10	64.577	3,6839	0,1266	6,33
	A ₂	5	10	61.885	3,8441	0,1321	6,61
	A ₃	5	10	53.761	4,4250	0,1521	7,60
	A ₄	5	10	34.424	6,9108	0,2375	11,88
	A ₅	5	10	23.248	10,2330	0,3517	17,58
	Σ			237.894	29,0968	1,0000	50,00
2	A ₁	5	10	34.517	3,7852	0,1387	6,93
	A ₂	5	10	33.580	3,8908	0,1426	7,13
	A ₃	5	10	26.327	4,9627	0,1818	9,09
	A ₄	5	10	20.368	6,4147	0,2351	11,75
	A ₅	5	10	15.861	8,2371	0,3018	15,09
	Σ			130.653	27,2906	1,0000	50,00
3	A ₁	5	10	22.007	3,8389	0,1423	7,12
	A ₂	5	10	21.268	3,9723	0,1473	7,36
	A ₃	5	10	17.452	4,8409	0,1795	8,97
	A ₄	5	10	12.862	6,5683	0,2435	12,17

	A ₅	5	10	10.894	7,7552	0,2875	14,37
	Σ			84.483	26,9756	1,0000	50,00
4	A ₁	5	10	44.441	3,7615	0,1363	6,82
	A ₂	5	10	42.480	3,9351	0,1426	7,13
	A ₃	5	10	35.967	4,6478	0,1685	8,42
	A ₄	5	10	24.266	6,8890	0,2497	12,49
	A ₅	5	10	20.011	8,3537	0,3028	15,14
	Σ			167.165	27,5870	1,0000	50,00
5	A ₁	5	10	40849	3,7791	0,1373	6,87
	A ₂	5	10	39.126	3,9455	0,1434	7,17
	A ₃	5	10	32.667	4,7256	0,1717	8,58
	A ₄	5	10	23.681	6,5188	0,2369	11,84
	A ₅	5	10	18.048	8,5533	0,3108	15,54
	Σ			154.372	27,5222	1,0000	50,00
6	A ₁	5	10	34.655	3,8130	0,1396	6,98
	A ₂	5	10	33.251	3,9740	0,1455	7,27
	A ₃	5	10	28.389	4,6546	0,1704	8,52
	A ₄	5	10	19.612	6,7379	0,2466	12,33
	A ₅	5	10	16.233	8,1403	0,2980	14,90
	Σ			132.140	27,3197	1,0000	50,00
7	A ₁	5	10	28.485	3,9006	0,1436	7,18
	A ₂	5	10	27.321	4,0668	0,1497	7,49
	A ₃	5	10	24.522	4,5311	0,1668	8,34
	A ₄	5	10	17.300	6,4226	0,2365	11,82
	A ₅	5	10	13.483	8,2410	0,3034	15,17
	Σ			111.111	27,1622	1,0000	50,00
8	A ₁	5	10	52.637	3,6941	0,1316	6,58
	A ₂	5	10	50.467	3,8529	0,1373	6,86
	A ₃	5	10	41.788	4,6531	0,1658	8,29
	A ₄	5	10	27.376	7,1028	0,2530	12,65
	A ₅	5	10	22.177	8,7677	0,3123	15,62
	Σ			194.445	28,0706	1,0000	50,00
9	A ₁	5	10	21.239	3,9747	0,1489	7,45
	A ₂	5	10	20.545	4,1088	0,1539	7,70
	A ₃	5	10	18.257	4,6237	0,1732	8,66
	A ₄	5	10	13.375	6,3117	0,2365	11,82
	A ₅	5	10	11.000	7,6739	0,2875	14,37
	Σ			84.416	26,6927	1,0000	50,00
10	A ₁	5	10	45.356	3,7814	0,1372	6,86
	A ₂	5	10	43.681	3,9264	0,1425	7,12
	A ₃	5	10	36.468	4,7030	0,1706	8,53
	A ₄	5	10	25.881	6,6269	0,2405	12,02
	A ₅	5	10	20.124	8,5225	0,3092	15,46
	Σ			171.510	27,5603	1,0000	50,00

Primenjene mere energetske sanacije više smanjuju trošak priključka objekta na sistem "BE" od troška opreme za centralno grejanje. Kada se izračuna broja poena na osnovu ovog kriterijuma vidljivo je da najveći broj poena (od 14,37 do 17,58, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rang, sa nešto manje poena, je alternativa A₄. Kod ove alternative broj poena se kreće od 11,75 do 12,65. Na kraju liste su alternative A₂ i A₁, sa malom razlikom poena u korist alternative A₂. Objekat koji nije toplotno izolovan zahteva najviši iznos sredstava za priključenje na sistem "BE" i smatra se neprihvatljivim po ovom kriterijumu.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta, samo na osnovu jednog kriterijuma, trošak opreme za centralno grejanje objekta, prihvatila bi se alternativa A₅.

6.4.5 KRITERIJUM TROŠAK EKSPLOATACIJE

Trošak eksploatacije je ekonomski kriterijum izražen u (dinarima), ali zahteva veću pažnju donosioca odluke zbog činjenice da je on prisutan sve vreme životnog veka projekta. Tako je ovaj kriterijum dobio najveću relativnu težinu između ekonomskih kriterijumima koji obuhvataju troškove. Za izračunavanje eksploatacionog troška relevantni parametri su godišnja potrebna energija za grejanje i instalirana snaga objekta. Izračunat je broj poena po alternativama na osnovu podataka o trošku eksploatacije iz tabela 18. do 27, a iz tabele 17 podatka o težinskom faktoru.

Broj poena kod kriterijuma trošak eksploatacije određen je na bazi sledećeg:

- funkcija ima zahtev za minimumom
- kvantifikovane vrednosti troška eksploatacije po alternativama, (S_{ij})
- vrednosti količnika (V_{ij})
- težinskog faktora, 20

Rezultati proračuna broja poena troška eksploatacije prikazani su u tabeli 32.

Tabela 32. Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma trošak eksploatacije

Objekat	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t _j)	S _i	V _i	$\frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}}$	P _i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A ₁	5	20	2.501	3,7869	0,1392	13,92
	A ₂	5	20	2.426	3,9038	0,1435	14,35
	A ₃	5	20	1.856	5,1015	0,1875	18,75
	A ₄	5	20	1.542	6,1416	0,2258	22,58
	A ₅	5	20	1.145	8,2694	0,3040	30,40
	Σ				9.470	27,2032	1,0000
2	A ₁	5	20	1.490	3,7208	0,1368	13,68
	A ₂	5	20	1.451	3,8220	0,1405	14,05
	A ₃	5	20	1.024	5,4145	0,1990	19,90
	A ₄	5	20	885	6,2672	0,2304	23,04
	A ₅	5	20	695	7,9778	0,2933	29,33
	Σ				5.546	27,2024	1,0000
3	A ₁	5	20	852	3,6030	0,1291	12,91
	A ₂	5	20	829	3,7014	0,1326	13,26
	A ₃	5	20	565	5,4349	0,1947	19,47
	A ₄	5	20	466	6,5845	0,2359	23,59
	A ₅	5	20	357	8,5901	0,3077	30,77
	Σ				3.070	27,9138	1,0000
4	A ₁	5	20	2.219	3,7669	0,1392	13,92
	A ₂	5	20	2.171	3,8487	0,1422	14,22
	A ₃	5	20	1.577	5,2989	0,1958	19,58
	A ₄	5	20	1.322	6,3213	0,2336	23,36
	A ₅	5	20	1.068	7,8254	0,2892	28,92
	Σ				8.357	27,0612	1,0000
5	A ₁	5	20	1.800	3,7735	0,1397	13,97
	A ₂	5	20	1.752	3,8785	0,1436	14,36
	A ₃	5	20	1.282	5,3001	0,1962	19,62
	A ₄	5	20	1.096	6,1978	0,2294	22,94
	A ₅	5	20	864	7,8656	0,2912	29,12
	Σ				6.794	27,0155	1,0000
6	A ₁	5	20	1.492	3,7780	0,1403	14,03
	A ₂	5	20	1.450	3,8871	0,1444	14,44
	A ₃	5	20	1.068	5,2773	0,1960	19,60
	A ₄	5	20	890	6,3364	0,2353	23,53
	A ₅	5	20	737	7,6487	0,2840	28,40
	Σ				5.638	26,9276	1,0000
7	A ₁	5	20	1.031	3,7304	0,1373	13,73

	A ₂	5	20	995	3,8651	0,1422	14,22
	A ₃	5	20	733	5,2478	0,1931	19,31
	A ₄	5	20	605	6,3552	0,2338	23,38
	A ₅	5	20	482	7,9810	0,2936	29,36
	Σ			3.845	27,1794	1,0000	100,00
8	A ₁	5	20	2.276	3,7990	0,1417	14,17
	A ₂	5	20	2.210	3,9117	0,1459	14,59
	A ₃	5	20	1.633	5,2958	0,1976	19,76
	A ₄	5	20	1.378	6,2756	0,2341	23,41
	A ₅	5	20	1.150	7,5216	0,2806	28,06
	Σ			8.646	26,8036	1,0000	100,00
9	A ₁	5	20	796	3,6850	0,1342	13,42
	A ₂	5	20	775	3,7845	0,1379	13,79
	A ₃	5	20	552	5,3173	0,1937	19,37
	A ₄	5	20	451	6,5014	0,2368	23,68
	A ₅	5	20	359	8,1621	0,2973	29,73
	Σ			2.934	27,4504	1,0000	100,00
10	A ₁	5	20	2.107	3,7565	0,1389	13,89
	A ₂	5	20	2.048	3,8630	0,1429	14,29
	A ₃	5	20	1.478	5,3533	0,1980	19,80
	A ₄	5	20	1.271	6,2282	0,2303	23,03
	A ₅	5	20	1.009	7,8389	0,2899	28,99
	Σ			7.913	27,0399	1,0000	100,00

Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma trošak eksploatacije pokazalo je da najveći broj poena (od 28,06 do 30,77, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangu, sa nešto manje poena, je alternativa A₄ (od 22,58 do 23,68). Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija. Alternativa A₂ ima neznatno više poena od poslednje, ali se poboljšanje ostvareno u ovoj alternativi smatra nedovoljnim. Objekat koji nije toplotno izolovan zahteva najviši iznos sredstava za trošak eksploatacije i smatra se neprihvatljivim. Posebno treba naglasiti da se radi o trošku koji je prisutan sve vreme životnog veka projekta.

Ukupan broj poena za kriterijum srazmeran je težinskom faktoru koji mu je dodeljen.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta samo na osnovu jednog kriterijuma, trošak eksploatacije, prihvatila bi se alternativa A₅.

6.4.6 EKOLOŠKI KRITERIJUM

Prekomerna emisija ugljen-dioksida i trend globalnog zagrevanja može izazvati poguban uticaj na kompletan život na Zemlji. Povećanje energetske efikasnosti zgrada, toplotna zaštita zgrada, ušteda svih vidova energije i zaštita okoline danas su se nametnuli kao nezaobilazan faktor odgovornog delovanja. Ekološki kriterijum, prikazan u (tonama CO₂), je dobio najveću relativnu težinu (34). Računanje broja poena po alternativama na osnovu ekološkog kriterijuma prikazano je u tabeli 33. Podaci o emitovanom ugljen-dioksidu za posmatrane objekte uzeti su iz tabela 18. do 27.

Najveći deo emisije ugljen-dioksida i drugih štetnih materija potiče od sagorevanja fosilnih goriva tako da se prilikom izbora projekta teži ka izboru onog koji ima najmanju emisiju. To znači da će kriterijumska funkcija prilikom određivanja broja poena imati zahtev za minimumom. Osnov za određivanje broja poena neće biti kvantifikovna vrednost i-tog elementa (S_{ij}) nego količnik zbira vrednosti svih elemenata koji se rangiraju i vrednosti ukupne emisije i-te alternative (V_{ij}).

Ukupan broj poena svakoj alternativivi pripada, na osnovu iznosa ukupne godišnje emisije ugljen-dioksida za tu alternativu, odnosno količnika V_{ij} . Težinski faktor je uzet iz tabele 17.

Tabela 33. Izračunavanje broja poena na osnovu ekološkog kriterijuma

Objekat	Alternativa	Broj altern. (n)	Tež. faktor (t_j)	S_i	V_i	$\frac{V_{ij}}{\sum_{i=1}^5 V_{ij}}$	P_i
1	2	3	4	5	6	7	8
1	A ₁	5	34	1.557	3,4472	0,1179	20,04
	A ₂	5	34	1.512	3,5491	0,1213	20,63
	A ₃	5	34	927	5,7883	0,1979	33,64
	A ₄	5	34	836	6,4153	0,2193	37,29
	A ₅	5	34	534	10,0490	0,3436	58,41
	Σ			5.366	29,2490	1,0000	170,00
2	A ₁	5	34	1.024	3,3511	0,1131	19,22
	A ₂	5	34	994	3,4523	0,1165	19,80
	A ₃	5	34	569	6,0293	0,2034	34,58
	A ₄	5	34	499	6,8836	0,2323	39,49
	A ₅	5	34	346	9,9206	0,3347	56,91
	Σ			3.432	29,6369	1,0000	170,00

3	A ₁	5	34	618	3,2784	0,1071	18,20
	A ₂	5	34	604	3,3582	0,1097	18,65
	A ₃	5	34	332	6,1140	0,1997	33,95
	A ₄	5	34	285	7,1081	0,2322	39,47
	A ₅	5	34	188	10,7587	0,3514	59,74
	Σ			2.028	30,6174	1,0000	170,00
4	A ₁	5	34	1.612	3,4475	0,1189	20,22
	A ₂	5	34	1.587	3,5012	0,1208	20,54
	A ₃	5	34	946	5,8729	0,2026	34,45
	A ₄	5	34	819	6,7821	0,2340	39,78
	A ₅	5	34	592	9,3805	0,3236	55,02
	Σ			5.557	28,9843	1,0000	170,00
5	A ₁	5	34	1.254	3,4426	0,1190	20,23
	A ₂	5	34	1.222	3,5306	0,1221	20,75
	A ₃	5	34	733	5,8895	0,2036	34,61
	A ₄	5	34	648	6,6621	0,2303	39,16
	A ₅	5	34	459	9,3998	0,3250	55,25
	Σ			4.316	28,9245	1,0000	170,00
6	A ₁	5	34	982	3,3663	0,1145	19,47
	A ₂	5	34	955	3,4596	0,1177	20,01
	A ₃	5	34	551	5,9965	0,2040	34,68
	A ₄	5	34	471	7,0177	0,2387	40,58
	A ₅	5	34	346	9,5577	0,3251	55,27
	Σ			3.305	29,3978	1,0000	170,00
7	A ₁	5	34	639	3,2486	0,1072	18,22
	A ₂	5	34	615	3,3763	0,1114	18,94
	A ₃	5	34	330	6,2966	0,2078	35,32
	A ₄	5	34	289	7,1920	0,2373	40,35
	A ₅	5	34	204	10,1901	0,3363	57,17
	Σ			2.077	30,3036	1,0000	170,00
8	A ₁	5	34	1.388	3,3277	0,1124	19,11
	A ₂	5	34	1.344	3,4369	0,1161	19,74
	A ₃	5	34	749	6,1700	0,2084	35,43
	A ₄	5	34	661	6,9842	0,2359	40,11
	A ₅	5	34	477	9,6827	0,3271	55,61
	Σ			4.618	29,6015	1,0000	170,00
9	A ₁	5	34	547	3,2769	0,1082	18,39
	A ₂	5	34	533	3,3596	0,1109	18,86
	A ₃	5	34	290	6,1774	0,2040	34,68
	A ₄	5	34	245	7,3012	0,2411	40,98
	A ₅	5	34	176	10,1696	0,3358	57,09
	Σ			1.792	30,2846	1,0000	170,00
10	A ₁	5	34	1.477	3,4046	0,1170	19,90
	A ₂	5	34	1.437	3,4997	0,1203	20,45

	A ₃	5	34	833	6,0403	0,2076	35,30
	A ₄	5	34	749	6,7126	0,2308	39,23
	A ₅	5	34	533	9,4329	0,3243	55,13
	Σ			5.030	29,0901	1,0000	170,00

Mere energetske sanacije u velikoj meri utiču na ukupnu emisiju ugljen-dioksida, a time i na broj poena po alternativama u okviru ovog kriterijuma. Izračunavanje broja poena na osnovu ekološkog kriterijuma pokazalo je da najveći broj poena (od 55,02 do 59,74, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangu, sa manjim brojem poena, je alternativa A₄. Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija. Sagorevanjem goriva fosilnog porekla za grejanje objekta koji nije toplotno izolovan ostvaruje se najviši nivo emisije CO₂ i takva alternativa smatra se neprihvatljivom.

Ukupan broj poena za kriterijum srazmeran je težinskom faktoru koji mu je dodeljen.

Ako bi se donosila odluka o izboru projekta samo na osnovu ekološkog kriterijuma, prihvatila bi se alternativa A₅.

6.4.7 ZBIRNI PODACI

Izračunavanje ukupnog broja poena za alternative po objektima i rangiranje projekata na osnovu broja poena prikazano je u tabeli 34. Podaci o broju poena po pojedinim kriterijumima uzeti su iz tabela 28. do 33. Dijagrami ukupnog broja poena za alternative po objektima prikazani su na slikama od sl. 76. do sl. 85.

Rangiranjem alternativa po ustanovljenim kriterijumima može se videti sledeće: alternativa A₅ (izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 20 cm, prozor kvaliteta 3, izolovani zidovi prema negrejanim prostorijama izolacijom debljine 5 cm) je prva po rangu na bazi ukupnog broja poena. Posmatrano po kriterijumima bila je prva po pet kriterijuma od šest razmatranih, samo je po kriterijumu koeficijent energetske sanacije prvo mesto pripalo alternativni A₃ (izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1).

Tabela 34. Broj poena i rangiranje po kriterijumima, ukupan broj poena i konačna rang lista po objektima

Objekat	Alternativa	Godišnja potrebna energija		Koefficient energetske sanacije		Trošak opreme za CG		Trošak priključenja na BE		Trošak eksploatac		Ekološki kriterijum		Ukupno	
		R	Pi	R	Pi	R	Pi	R	Pi	R	Pi	R	Pi	R	Pi
1	A ₁	5	7,22	5	0,00	5	8,35	5	6,33	5	13,92	5	20,04	5	55,85
	A ₂	4	7,47	4	2,26	4	8,59	4	6,61	4	14,35	4	20,63	4	59,91
	A ₃	3	12,31	1	30,51	3	9,52	3	7,60	3	18,75	3	33,64	3	112,33
	A ₄	2	14,05	3	15,83	2	10,77	2	11,88	2	22,58	2	37,29	2	112,39
	A ₅	1	23,96	2	16,40	1	12,77	1	17,58	1	30,40	1	58,41	1	159,52
	Br. po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
2	A ₁	5	6,94	5	0,00	5	8,36	5	6,93	5	13,68	5	19,22	5	55,14
	A ₂	4	7,19	4	2,04	4	8,54	4	7,13	4	14,05	4	19,80	4	58,75
	A ₃	3	12,69	1	31,71	3	9,83	3	9,09	3	19,90	3	34,58	2	117,80
	A ₄	2	14,94	2	16,07	2	10,89	2	11,75	2	23,04	2	39,49	3	116,17
	A ₅	1	23,24	3	15,18	1	12,39	1	15,09	1	29,33	1	56,91	1	152,13
	Br. po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
3	A ₁	5	6,56	5	0,00	5	8,32	5	7,12	5	12,91	5	18,20	5	53,10
	A ₂	4	6,75	4	1,74	4	8,47	4	7,36	4	13,26	4	18,65	4	56,23
	A ₃	3	12,42	1	31,05	3	9,71	3	8,97	3	19,47	3	33,95	3	115,57
	A ₄	2	14,87	2	16,59	2	10,83	2	12,17	2	23,59	2	39,47	2	117,52
	A ₅	1	24,40	3	15,62	1	12,68	1	14,37	1	30,77	1	59,74	1	157,58
	Br. po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
4	A ₁	5	7,37	5	0,00	5	8,34	5	6,82	5	13,92	5	20,22	5	56,66
	A ₂	4	7,50	4	1,86	4	8,58	4	7,13	4	14,22	4	20,54	4	59,83
	A ₃	3	12,74	1	27,46	3	9,58	3	8,42	3	19,58	3	34,45	3	112,23
	A ₄	2	15,09	2	18,46	2	11,01	2	12,49	2	23,36	2	39,78	2	120,18
	A ₅	1	22,30	3	17,23	1	12,50	1	15,14	1	28,92	1	55,02	1	151,10
	Br. po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
5	A ₁	5	7,41	5	0,00	5	8,45	5	6,87	5	13,97	5	20,23	5	56,93
	A ₂	4	7,63	4	1,89	4	8,69	4	7,17	4	14,36	4	20,75	4	60,48
	A ₃	3	12,83	1	31,43	3	9,72	3	8,58	3	19,62	3	34,61	2	116,80
	A ₄	2	14,88	2	16,18	2	10,92	2	11,84	2	22,94	2	39,16	3	115,92
	A ₅	1	22,25	3	15,51	1	12,22	1	15,54	1	29,12	1	55,25	1	149,87
	Br. po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00

6	A ₁	5	7,08	5	0,00	5	8,35	5	6,98	5	14,03	5	19,47	5	55,90
	A ₂	4	7,31	4	1,73	4	8,57	4	7,27	4	14,44	4	20,01	4	59,32
	A ₃	3	12,79	1	28,18	3	9,78	3	8,52	3	19,60	3	34,68	3	113,55
	A ₄	2	15,42	2	18,43	2	10,98	2	12,33	2	23,53	2	40,58	2	121,27
	A ₅	1	22,40	3	16,66	1	12,32	1	14,90	1	28,40	1	55,27	1	149,95
	Br.po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
7	A ₁	5	6,51	5	0,00	5	8,31	5	7,18	5	13,73	5	18,22	5	53,95
	A ₂	4	6,81	4	2,13	4	8,64	4	7,49	4	14,22	4	18,94	4	58,23
	A ₃	3	12,84	1	33,74	3	9,39	3	8,34	3	19,31	3	35,32	2	118,95
	A ₄	2	15,25	2	15,21	2	10,68	2	11,82	2	23,38	2	40,35	3	116,69
	A ₅	1	23,59	3	13,92	1	12,98	1	15,17	1	29,36	1	57,17	1	152,18
	Br.po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
8	A ₁	5	6,90	5	0,00	5	8,49	5	6,58	5	14,17	5	19,11	5	55,26
	A ₂	4	7,17	4	2,03	4	8,69	4	6,86	4	14,59	4	19,74	4	59,09
	A ₃	3	13,00	1	32,87	3	9,79	3	8,29	3	19,76	3	35,43	2	119,15
	A ₄	2	15,21	2	15,67	2	10,85	2	12,65	2	23,41	2	40,11	3	117,90
	A ₅	1	22,71	3	14,43	1	12,17	1	15,62	1	28,06	1	55,61	1	148,60
	Br.po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
9	A ₁	5	6,61	5	0,00	5	8,47	5	7,45	5	13,42	5	18,39	5	54,34
	A ₂	4	6,81	4	1,93	4	8,65	4	7,70	4	13,79	4	18,86	4	57,73
	A ₃	3	12,68	1	30,36	3	9,34	3	8,66	3	19,37	3	34,68	3	115,08
	A ₄	2	15,49	2	17,23	2	10,95	2	11,82	2	23,68	2	40,98	2	120,16
	A ₅	1	23,41	3	15,49	1	12,59	1	14,37	1	29,73	1	57,09	1	152,68
	Br.po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00
10	A ₁	5	7,23	5	0,00	5	8,31	5	6,86	5	13,89	5	19,90	5	56,20
	A ₂	4	7,47	4	1,96	4	8,71	4	7,12	4	14,29	4	20,45	4	60,01
	A ₃	3	13,02	1	32,06	3	10,02	3	8,53	3	19,80	3	35,30	2	118,74
	A ₄	2	14,89	2	15,89	2	10,97	2	12,02	2	23,03	2	39,23	3	116,04
	A ₅	1	22,38	3	15,08	1	11,98	1	15,46	1	28,99	1	55,13	1	149,03
	Br.po.		65,00		65,00		50,00		50,00		100,00		170,00		500,00

Ukupno posmatrano druga alternativa po rangju je A_4 (objekat izolovan toplotnom izolacijom debljine 10 cm, prozor kvaliteta 2) za zgrade 1, 3, 4, 6 i 9. Ovoj alternativu je pripalo 23,48% od ukupnog broja poena. Kod pet zgrada (2, 5, 7, 8 i 10), ukupno gledano, druga po po rangju je alternativa A_3 . Ova alternativa ima 23,20% osvojenih poena na nivou svih posmatranih objekata. Dominantno rešenje, A_5 , ima 30,45% osvojenih poena kod svih posmatranih objekata.

Treća alternativa po broju osvojenih poena na nivou svih posmatranih objekata je A_3 (izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1). Mere energetske sanacije primenjene u alternativu A_3 nisu dovoljne da se zadovolje zahtevi [55], ali je ona i dalje dovoljno privlačna jer se rangiranje radi u uslovima veoma ograničenih finansijskih mogućnosti.

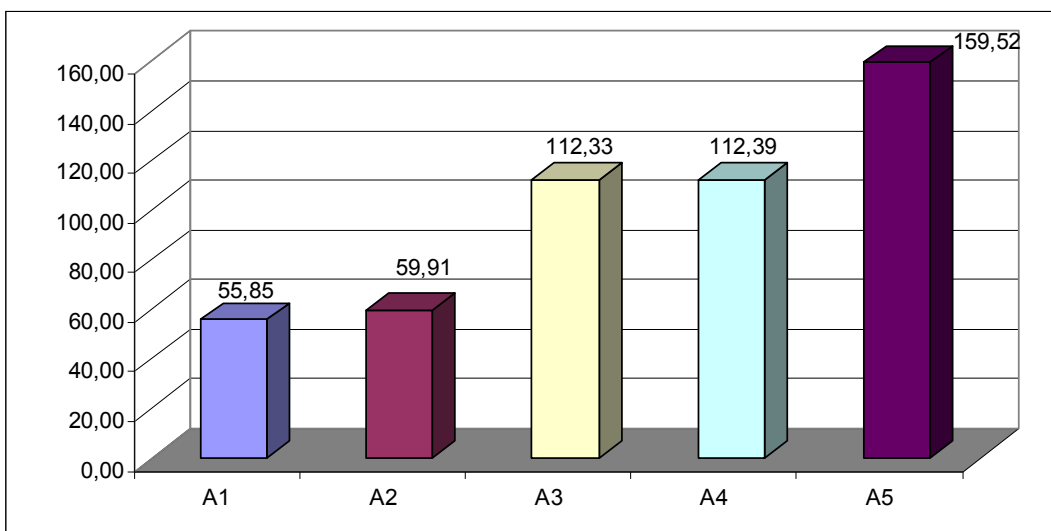
Četvrta alternativa po rangju, A_2 , i po broju osvojenih poena je neizolovan objekat, prozor kvaliteta 2. Ova alternativa bila je na četvrtom mestu kod svih posmatranih objekata. Prosečan broj osvojenih poena je 11,79%.

Poslednja alternativa po rangju, A_1 , je neizolovan objekat. Ova alternativa bila je na petom mestu kod svih posmatranih objekata. Prosečan broj osvojenih poena je 11,09%.

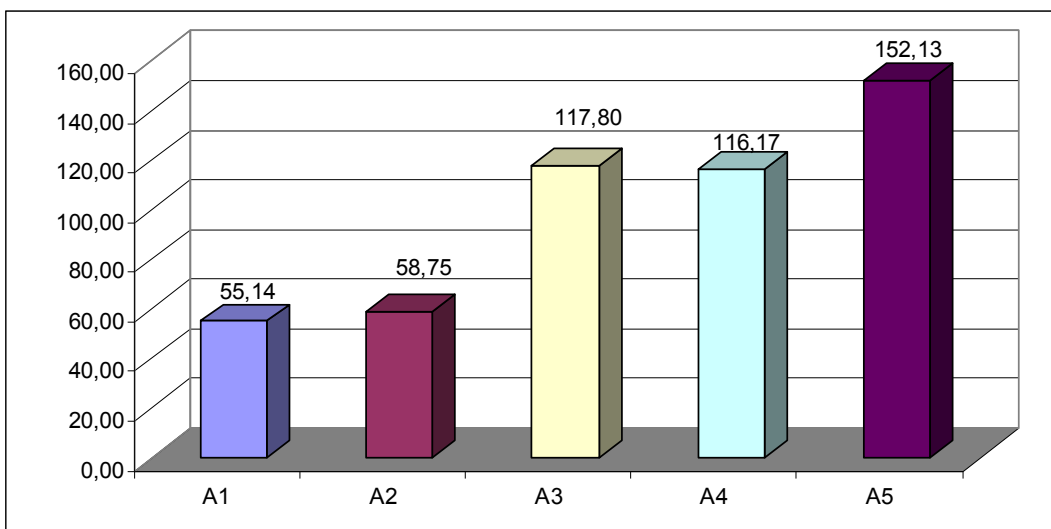
Alternativa A_5 je dominantno rešenje jer je najbolje po većini ustanovljenih kriterijuma.

Obzirom da je alternativa A_5 bila prva po pet kriterijuma, od šest razmatranih, i da ukupno ima najveći broj poena, može se zaključiti da se radi o dominantnom rešenju.

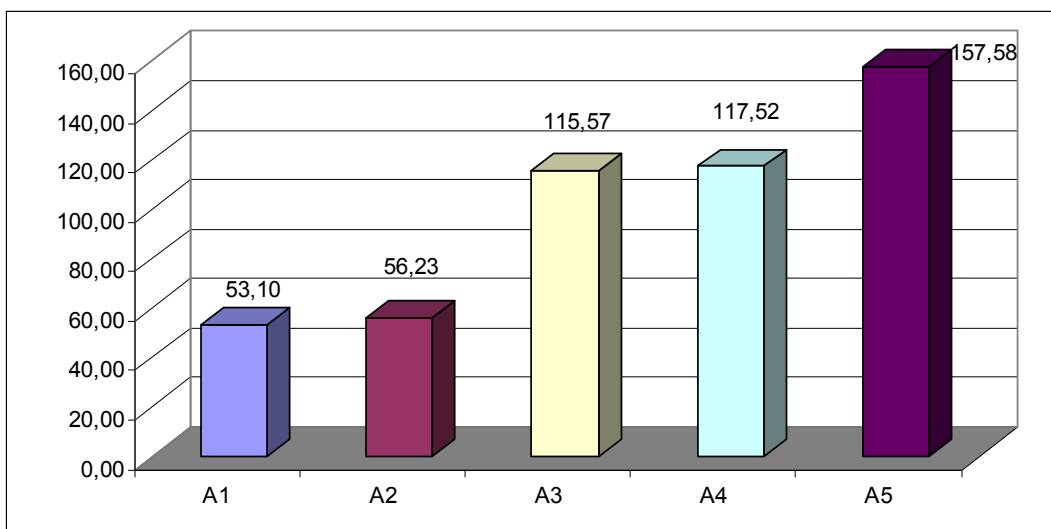
Ova rad se bavi izborom najpovoljnije alternative. Rezultati istraživanja su pokazali da je kvalitetnije izolovan objekat u prednosti u odnosu na druge objekte iako mere energetske sanacije podrazumevaju troškove. Zbog toga se energetska sanacija mora stimulisati povoljnim kreditima i drugim merama.



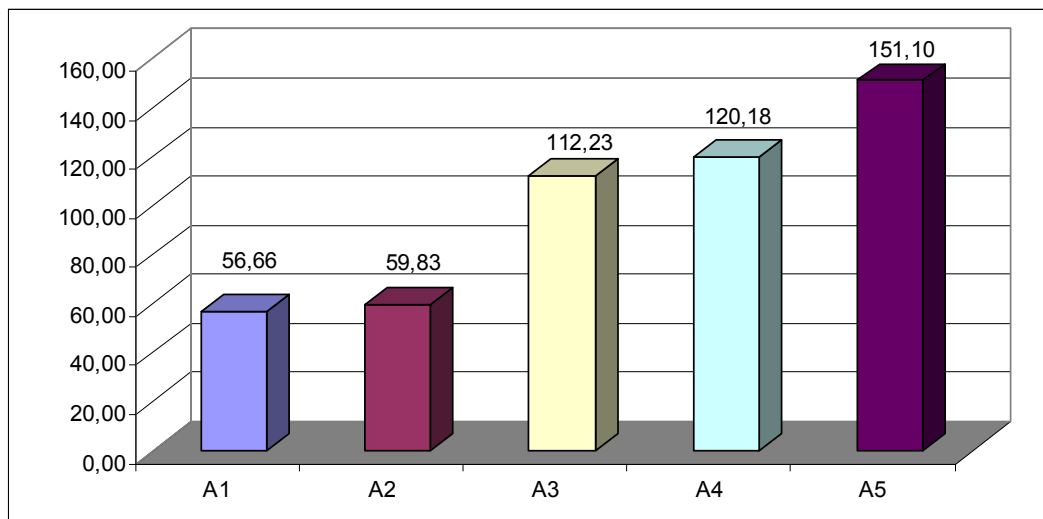
Slika 76. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 1



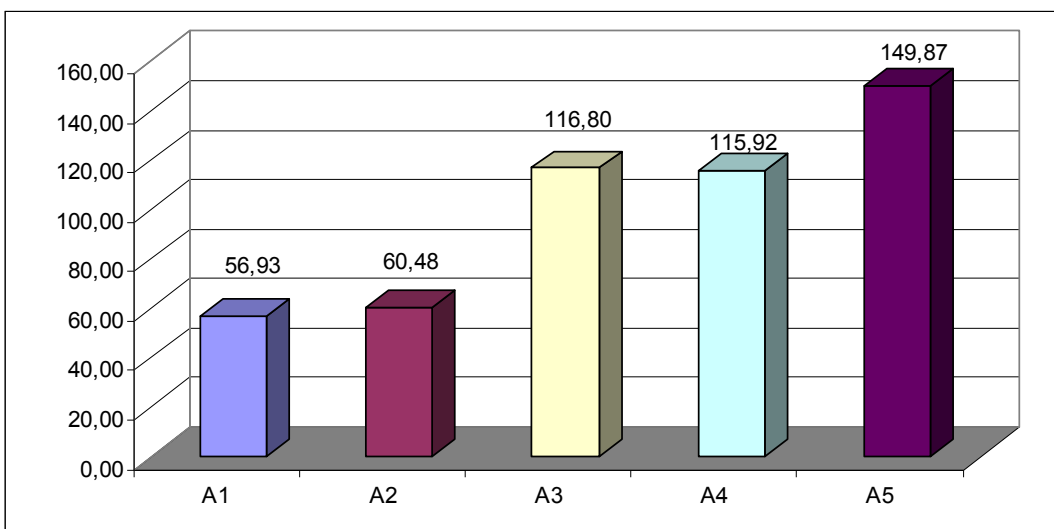
Slika 77. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 2



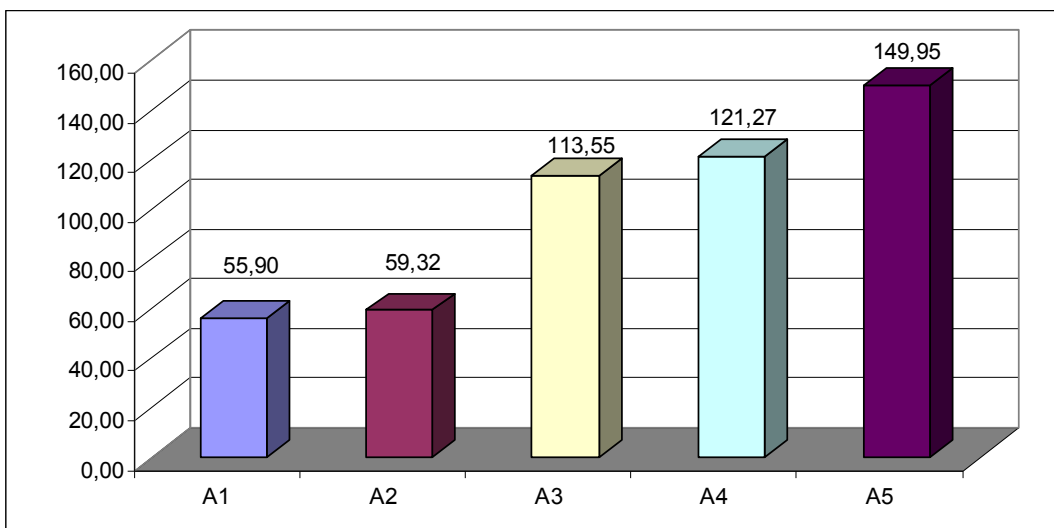
Slika 78. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 3



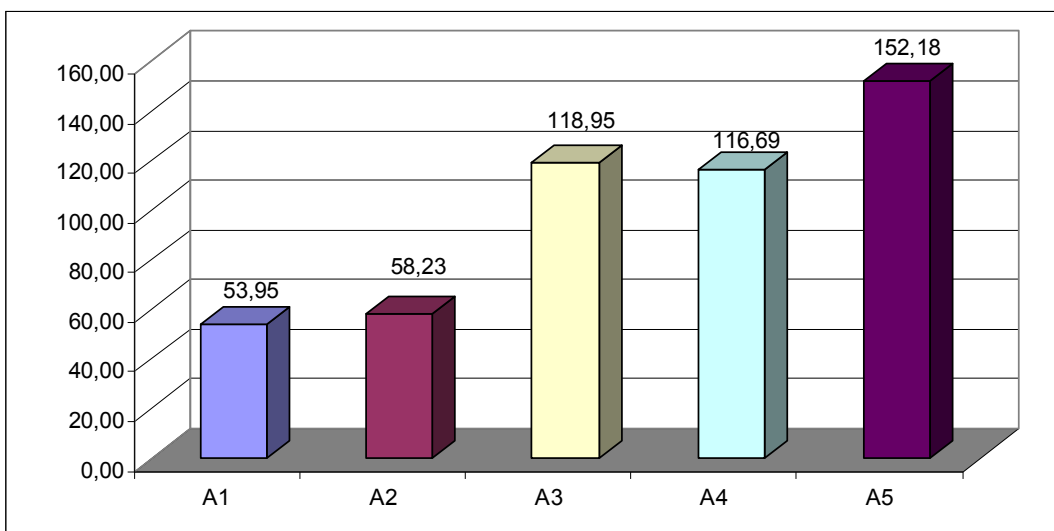
Slika 79. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 4



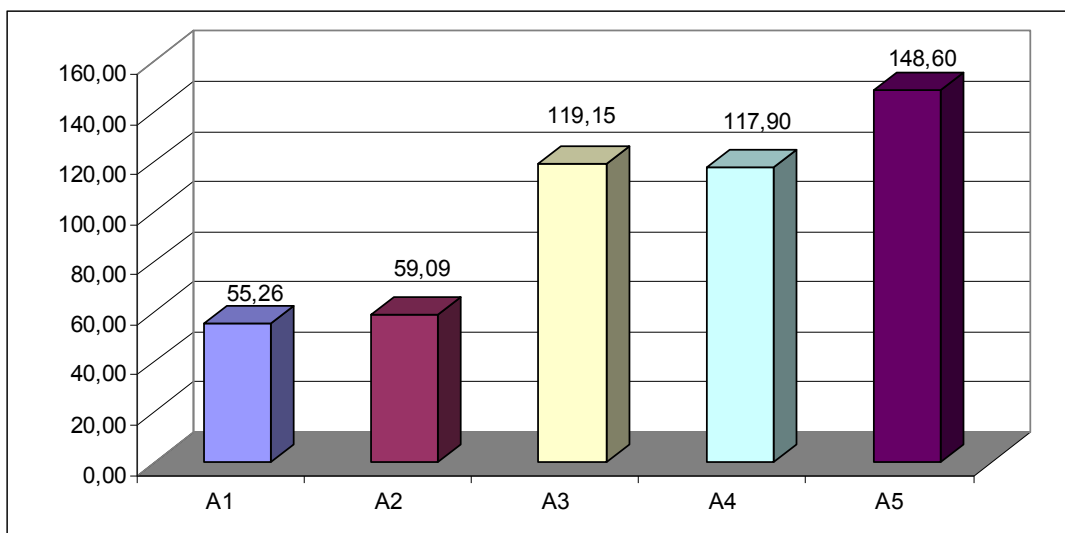
Slika 80. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 5



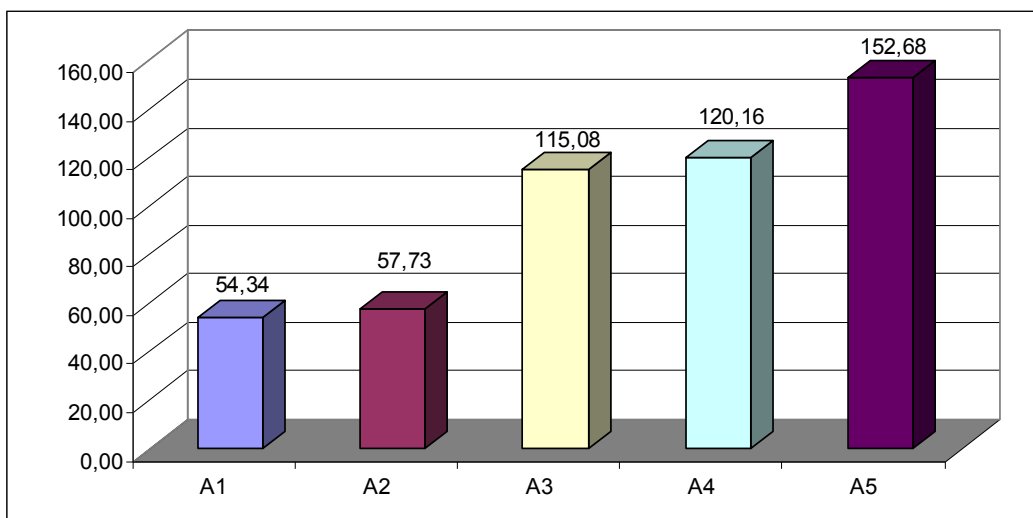
Slika 81. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 6



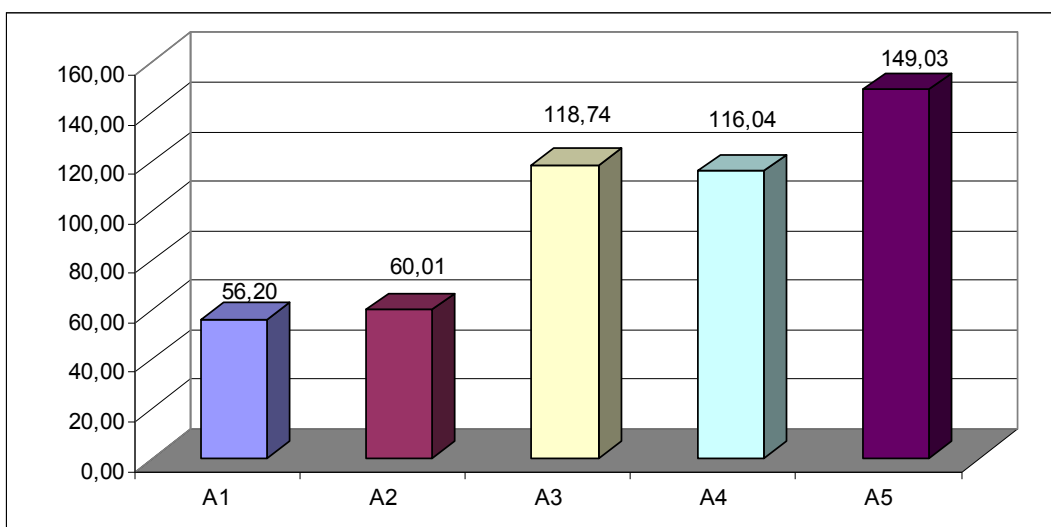
Slika 82. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 7



Slika 83. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 8



Slika 84. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 9



Slika 85. Dijagram ukupnog broja poena po alternativama za zgradu 10

7.0 METOD PERIODA POVRAĆAJA

Prethodno je rečeno da su alternative tako izabrane, da daju odgovore na ranije često postavljana pitanja. Da li su novi, kvalitetniji, prozori dovoljni za se potroši znatno manje energije za centralno grejanje? Da li je debljina toplotne izolacije 2 cm, 4 cm ili 5 cm dovoljna da se potrošnja goriva smanji za 50%? Kada će se isplatiti ulaganje u toplotnu izolaciju objekata? Odgovor na poslednje pitanje moguće je dati uz pomoć inženjersko-ekonomске metode perioda povraćaja [18].

Do pedesetih godina prošlog veka metod perioda povraćaja bio je veoma često korišćen prilikom donošenja investicionih odluka. To je metod koji pokazuje koliko dugo treba čekati da se povrate uložena novčana sredstva.

Potrebno vreme (broj godina) da se povrati uloženi iznos u neki projekat, naziva se period (rok) povraćaja. Ako se donosi odluka o izboru projekta na bazi perioda povraćaja, onda se razmatraju samo oni projekti čiji je period povraćaja kraći od maksimalno prihvatljivog perioda povraćaja. Izbor ovog perioda je određen politikom menadžmenta, na primer, firme visoke tehnologije, kao što su proizvođači kompjutera, određuju kraći vremenski period za svaku novu investiciju, jer njihovi proizvodi brzo zastare.

Prednost ovog metoda je njegova jednostavnost. Provera inženjerskih investicionih projekata je fokusirana na vreme u kojem se očekuje povraćaj početnog ulaganja. Ovaj metod je takođe pogodan za upoređivanje više alternativa, pri čemu je povoljniji onaj projekat koji ima kraći period povraćaja uložениh sredstava od drugih. U ovom istraživanju, prioritet su dobili drugi kriterijumi tako da će se ovaj metod koristiti da pokaže koliki je period povraćaja uložениh sredstava za odabranu alternativu A₅.

Glavni nedostatak metoda perioda povraćaja je njegova nemogućnost merenja profitabilnosti projekta [22]. Jednostavno dobijanje vremena za koje se povrati početni investicioni trošak malo doprinosi oceni kolika je zarada od realizacije tog projekata. Analiza perioda povraćaja ne respektuje koncept vremenske vrednosti novca, tj. ona ne može da prepozna razliku između sadašnje i buduće vrednosti novca.

Između momenta ulaganja u investicioni projekat i momenta ostvarivanja primanja (efekta) po osnovu investicionog projekta uvek postoji veliki vremenski razmak. S tim u

vezi, logično je da novac ima veću vrednost u momentu izdavanja, od one vrednosti koju ima u momentu primanja (koncept vremenske vrednosti novca) [20, 80].

Da bi se budući efekti sveli na sadašnju vrednost koristi se “diskontni račun”. On predstavlja način da se fenomen vremenske vrednosti novca uključi u obračun rentabilnosti investicionog projekta.

Neuzimanje u obzir vremenske vrednosti novca, uspešno se eliminiše kumulativnim izračunavanjem neto sadašnje vrednosti po godinama trajanja projekta. Broj godina potrebnih za povraćaj uloženi sredstava se dobija praćenjem neto sadašnje vrednosti. U 0-toj godini NSV je negativna jer su troškovi veći od prihoda. Godina u kojoj neto sadašnja vrednost prelazi iz negativne u pozitivnu vrednost, jeste godina u kojoj su uložena sredstva vraćena.

Ovom metodom se očekivani prihod, putem diskontne stope, svodi na sadašnju vrednost da bi se utvrdilo da li će očekivana sredstva biti dovoljna za vraćanje uloženi sredstava i kada će se to realizovati.

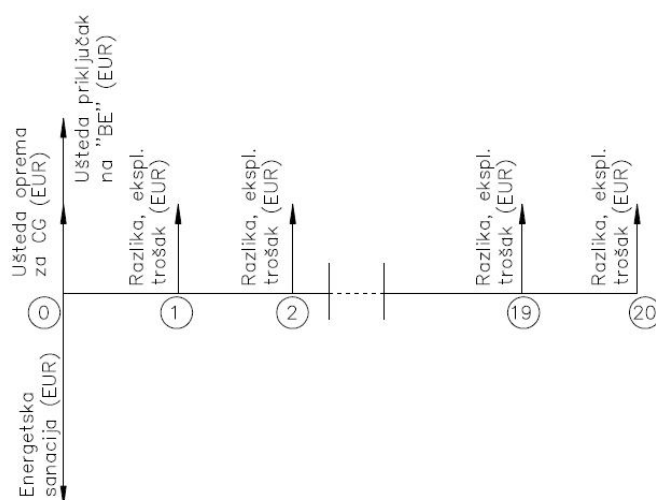
Energetska sanacija objekta je tok sa negativnim predznakom zato što predstavlja trošak. Merama energetske sanacije ostvaruje se ušteda u visini sredstava potrebnih za opremu za centralno grejanje objekta i smanjuje cena priključka na sistem “BE”. Razlika ovih troškova između alternative A_1 i alternative A_5 predstavlja pozitivan novčani tok. Pomenuta tri troška su prisutni na početku životnog veka inženjersko-investicionog projekta.

Povećanje energetske efikasnosti objekata, ostvareno merama energetske sanacije, smanjuje visinu mesečnih računa za centralno grejanje. Ova ušteda je prisutna sve vreme životnog veka projekta. U dijagramu novčanog toka ušteda ostvarena kod eksploatacionog troška je novčani tok sa pozitivnim predznakom. Obzirom da je ova ušteda prisutna sve vreme životnog veka inženjersko-investicionog projekta potrebno ju je svesti na sadašnju vrednost.

Neto gotovinski tok dobijen je sabiranjem pozitivnih i negativnih novčanih tokova. Diskontovanje neto gotovinskog toka, za svaki objekat i svaku alternativu, rađeno je za period u kome je vrednost NSV negativna, odnosno do one prelomne godine kada postaje pozitivna. Na taj način dobijen je period u kome će uložena sredstva biti vraćena.

Diskontna stopa, za investitora, predstavlja oportunitetni trošak angažovanja sredstava. Za potrebe ovog rada korišćena je stopa 12%.

Na slici 86. grafički je prikazan novčani tok u posmatranom periodu.



Slika 86. Grafički prikaz novčanog toka

Obračun neto sadašnje vrednosti na osnovu poznate buduće vrednost novčanog toka rađen je na osnovu [56]:

$$NSV_t(k) = -I + (R_1 - C_1) * (f_{SB})_k^1 + (R_2 - C_2) * (f_{SB})_k^2 + \dots + (R_t - C_t) * (f_{SB})_k^t \geq 0 \quad (20)$$

gde je:

$NSV_t(k)$ (EUR) - neto sadašnja vrednost

I (EUR) - ukupna vrednost investicionih ulaganja

R (EUR) - ukupni godišnji prihodi

C (EUR) - ukupni godišnji rashodi

t - broj potrebnih godina za povraćaj uloženog novca

$(f_{SB})_k^t$ - faktor sadašnje vrednosti za t -tu godinu za diskontnu stopu k

Iz jednačine (20) se vidi da je obračun NSV kumulativan. Obračun je rađen za sve objekte za alternativu A₅. S obzirom da je Alternativa A₅ bila prva po pet kriterijuma, od šest razmatranih, i da ima najveći broj poena može se zaključiti da se radi o dominantnom rešenju.

Za obračun perioda povraćaja korišćeni su podaci iz tabele 14. (troškovi energetske sanacije). Ostali troškovi: oprema za centralno grejanje objekta, priključak na sistem "BE" i eksploatacioni, za posmatrane objekte, uzeti su iz tabela 18. do 27. Rezultati obračuna perioda povraćaja sa vremenskim faktorom prikazani su u tabeli 35.

Rezultati proračuna pokazuju koliko je svaki objekat specifičan, tako da se period povraćaja kreće se od četvrte do osme godine životnog veka projekta. Ulaganje u energetska sanaciju za najveći broj posmatranih objekata (četiri) vratilo bi se u osmoj godini eksploatacije. Period povraćaja za dva objekta je u sedmoj godini, za dva u šestoj godini, a za jedan objekat u petoj odnosno četvrtoj godini.

Za potrebe izračunavanja perioda povraćaja uloženi sredstava u energetska sanaciju objekata za ukupnu površinu priključenih stanova 1.380.090,69 m², u okviru akcije priključenja 21.000 stanova, izračunate su prosečne vrednosti troška energetske sanacije, ostvarenih ušteda troška opreme za centralno grejanje, troška priključka na sistem "BE" i eksploatacionog troška, za alternativu A₅ za sve posmatrane objekte. Ukupna površina posmatranih objekata je 9.372 m².

Prosečna vrednost troška energetske sanacije za alternativu A₅, za posmatrane objekte, iznosi 73,9 EUR/m², a ukupna vrednost tog troška za sve priključene stanove u pomenutoj akciji iznosila bi 101,98 miliona EUR.

Razlika troška između alternativa A₁ i A₅ predstavlja uštedu troška nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje, za posmatrane objekte. Prosečna vrednost uštede iznosi 10,9 EUR/m², a ukupna vrednost uštede za sve priključene stanove u pomenutoj akciji iznosila bi 15,07 miliona EUR.

Ušteda troška priključenja objekata na sistem "BE" dobijena je kao razlika tog troška između alternativa A₁ i A₅, za posmatrane objekte. Prosečna vrednost uštede iznosi 23,23 EUR/m², a ukupna vrednost uštede za sve priključene stanove u pomenutoj akciji iznosila bi 32,05 miliona EUR.

Tabela 35. Rezultati obračuna perioda povraćaja sa vremenskim faktorom po objektima

Objekat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trošak	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
Energetska sanacija	-108.080	-66.396	-35.573	-84.253	-70.796	-49.325	-49.936	-95.918	-34.103	-91.821
Oprema za CG	19.041	8.795	5.704	11.185	10.922	8.777	7.740	13.014	4.727	12.416
Cena priključka	41.329	18.656	11.113	24.430	22.801	18.422	15.002	30.459	10.238	25.231
Σ	-47.709	-38.945	-18.756	-48.638	-37.073	-22.126	-27.193	-52.444	-19.138	-54.173
Trošak eksploatacije	13.555	7.953	4.947	11.506	9.367	7.552	5.490	11.265	4.367	10.970
Godina	Neto sadašnja vrednost, NSV (12%)									
0	-47.709	-38.945	-18.756	-48.638	-37.073	-22.126	-27.193	-52.444	-19.138	-54.173
1	-35.606	-31.844	-14.339	-38.364	-28.710	-15.383	-22.291	-42.386	-15.239	-44.378
2	-24.800	-25.504	-10.395	-29.191	-21.242	-9.363	-17.915	-33.406	-11.758	-35.632
3	-15.151	-19.843	-6.874	-21.001	-14.575	-3.987	-14.007	-25.388	-8.650	-27.824
4	-6.537	-14.789	-3.730	-13.689	-8.622	812	-10.518	-18.229	-5.875	-20.852
5	1.154	-10.276	-923	-7.160	-3.307		-7.403	-11.838	-3.397	-14.628
6		-6.247	1.583	-1.331	1.439		-4.622	-6.131	-1.185	-9.070
7		-2.650		3.873			-2.139	-1.036	790	-4.108
8		562					78	3.514		323
9										
10										

Eksploatacioni trošak je prisutan sve vreme životnog veka projekta Ušteda je, takođe, dobijena kao razlika tog troška između alternativa A_1 i A_5 , za posmatrane objekte. Prosečna vrednost uštede iznosi 9,28 EUR/m², a ukupna vrednost uštede za sve priključene stanove u pomenutoj akciji iznosila bi 12,81 miliona EUR na godišnjem nivou.

Da bi se mogli priključiti novi potrošači bilo je potrebno širiti mrežu gradskog toplovoda i snagu toplotnih izvora. Iako su se mogle ostvariti uštede vezane za trošak širenja mreže toplovoda taj uticaj nije uzet u razmatranje. Primenjene mere energetske sanacije (A_5), smanjile su potrebnu angažovanu snagu za preko 100 W/m², za posmatrane objekte. Zbog neracionalnog pristupa, bilo je potrebno povećati snagu toplotnih izvora za preko 138 MW. Ulaganje u novu energanu na prirodni gas (kapaciteta do 50 MW) iznosi 80.000 EUR/MW [16]. Mogla su se uštedeti sredstva za izgradnju toplotnih izvora u visini od 11,04 miliona EUR. Navedena ušteda predstavlja pozitivan novčani tok.

Rezultati obračuna perioda povraćaja sa vremenskim faktorom za sve objekte priključene u okviru programa priključenja 21.000 stanova prikazani su u tabeli 36.

Tabela 36. Rezultati obračuna perioda povraćaja sa vremenskim faktorom za ukupnu površinu priključenja

Trošak	EUR
Energetska sanacija	-101.979.738
Toplotni izvor	11.040.720
Oprema za CG	15.067.079
Cena priključka	32.054.680
Σ	-43.817.258
Trošak eksploatacije	12.806.855
Godina	NSV (12%)
0	-43.817.258
1	-32.382.018
2	-22.172.394
3	-13.056.474
4	-4.917.718
5	2.348.891

Rezultati proračuna perioda povraćaja pokazuju da je vrednost NSV pozitivna u petoj godini životnog veka projekta. To praktično znači da je on kraći od 5 godina.

8.0 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Unapređenje energetske efikasnosti u zgradarstvu podrazumeva kontinuirani i širok opseg delatnosti kojima je krajnji cilj smanjenje potrošnje svih vrsta energije uz iste ili bolje uslove u objektu. Kao posledicu smanjenja potrošnje obnovljivih izvora energije (fosilnih goriva) i korišćenje obnovljivih izvora energije, imamo smanjenje emisije štetnih gasova (CO₂ i dr.) što doprinosi zaštiti prirodne okoline, smanjenju globalnog zagrevanja i održivom razvoju zemlje.

Pregledom raspoložive literature i analizom postojećih metoda inženjersko-ekonomske analize, koje se bave povećanjem energetske efikasnosti objekata, utvrđeno je da postoji mogućnost daljeg razvoja tog metoda, jer on može dati kvalitativno bolje rešenje u odnosu na postojeće metode. Dobar deo literature su radovi koji problematiku analiziraju na osnovu simulacije formiranog modela, sa svim kompromisima koji su u takvim slučajevima prisutni. Istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije rađena su na realnom uzorku.

U Beogradu je teško pronaći objekat, ili grupu objekata, koji se svojom formom, veličinom ili drugim karakteristikama mogu tipizirati. Smatra se da je analiziranih deset objekata koji su različiti po svojoj mikro lokaciji, orijentaciji, faktoru oblika, periodu izgradnje, konstruktivnim karakteristikama, stepenu održavanja i drugim osobinama dovoljno reprezentativno. Međusobno su se poredili postojeći načini gradnje, alternativa A₁, kao i konkurentna alternativna rešenja koja uključuju odgovarajuće tehničke zahvate na energetske sanaciji u cilju povećanja energetske efikasnosti zgrade. Obavljena istraživanja zasnovana su na najnovijim standardima energetske politike.

Evaluacija upoređivanih (A₁, A₂, ..., A₅) alternativa, izvršena je u sistemu od šest kriterijuma (f₁, f₂, ..., f₆), sa različitim relativnim značajem (težinom) i sa različitim zahtevima za maksimumom ili minimumom po ustanovljenim kriterijumima.

Upoređivane su sledeće alternative:

- Alternativa A₁: neizolovan objekat, prozor kvaliteta 1, na prozor se stavljaju zaptivne trake zbog smanjenja ventilacionih gubitaka
- Alternativa A₂: neizolovan objekat, prozor kvaliteta 2

- Alternativa A₃: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 5 cm, prozor kvaliteta 1
- Alternativa A₄: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 10 cm, prozor kvaliteta 2
- Alternativa A₅: izolovan objekat toplotnom izolacijom debljine 20 cm, prozor kvaliteta 3, izolovani zidovi prema negrejanim prostorijama izolacijom debljine 5 cm

Ocenjivanje alternativa i izbor najpovoljnije izvršeno je u sistemu sledećih kriterijuma:

- f_1 – godišnja potrebna energija za grejanje objekta
- f_2 – koeficijent energetske sanacije objekta
- f_3 – trošak nabavke i ugradnje opreme za centralno grejanje objekta
- f_4 – trošak priključenja objekta na sistem "Beogradskih elektrana"
- f_5 – eksploatacioni trošak
- f_6 – ekološki kriterijum

Specifična godišnja potrebna energija $Q_{H,an}$ kreće se, za alternativu A₁, od 138 kWh/m²a (zgrada 8) do 227 kWh/m²a (zgrada 3). Predviđenim merama energetske sanacije vrednost $Q_{H,an}$ je smanjena ispod 70 kWh/m²a, za alternativu A₅, za sve posmatrane objekte.

Predviđenim merama energetske sanacije zgrada smanjenje godišnje potrebne energija $Q_{H,nd}$ po alternativama izgleda ovako:

- alternativa A₂ ostvaruje uštedu cca 3%
- alternativa A₃ ostvaruje uštedu od 41% (zgrada 1) do 49% (zgrada 7)
- alternativa A₄ ostvaruje uštedu od 49% (zgrada 1) do 57% (zgrade 7 i 9)
- alternativa A₅ ostvaruje uštedu od 67% (zgrade 4 i 5) do 73% (zgrada 3)

Alternativom A_4 , ostvaruje se respektabilna ušteda od cca 50% energije i zadovoljavajuća vrednost koeficijenta prolaza toplote za spoljni zid U , ali ne i zadovoljavajuća vrednost maksimalne godišnje potrošnje energije za grejanje [55]. Zahteve iz navedenog pravilnika zadovoljavaju samo zgrade 7 i 8, a kod alternative A_5 svi posmatrani objekti.

Ukupni gubici toplote svedeni na m^2 efektivne površine, za sve posmatrane objekte, iznose 161 W/m^2 za alternativu A_1 , a 55 W/m^2 za alternativu A_5 . Predviđene mere energetske sanacije za alternativu A_5 smanjuju potrebnu angažovanu snagu za preko 100 W/m^2 .

Vrednost troška energetske sanacije objekta nije korišćena za kvantifikovanje u postupku rangiranja alternativa. S obzirom da se radi o trošku, kriterijumska funkcija bi trebala da ima zahtev za minimumom. S druge strane, viši nivo energetske sanacije podrazumeva veću energetska efikasnost objekta sa svim pozitivnim efektima. Da bi se ovo prevazišlo uveden je koeficijent energetske sanacije, kao relativni pokazatelj tehnoloških veličina: ušteda godišnje potrebne energije za grejanje zgrade i troška predviđenih mera energetske sanacije.

Najveći pozitivan efekat odnosa ostvarene uštede toplotne energije i uloženi sredstava za energetska sanaciju uočljiv je kod alternative A_3 , kod svih posmatranih objekata. Prosečan koeficijent energetske sanacije na nivou svih posmatranih zgrada za alternativu A_3 iznosi $3,38 \text{ (kWh/(aEUR))}$, što znači da za svaki uloženi (EUR) u energetska sanaciju (nivo sanacije A_3) ostvari se ušteda energije od $3,38 \text{ (kWh/a)}$.

Vrednost troška energetske sanacije svedena na efektivnu površinu poda objekta, pokazuje prosečnu vrednost pomenutog troška, a na nivou svih posmatranih objekata iznosi 74 EUR/m^2 .

Predviđene mere energetske sanacije smanjuju visinu troška opreme za centralno grejanje. Najmanja ušteda se ostvaruje kod alternative A_2 , a najveća kod alternative A_5 . Ukupno smanjenje visine ulaganja u opremu razlikuje se od objekta do objekta. Ono se kreće od cca 3% za alternativu A_2 pa do cca 30% za alternativu A_5 .

Ukupna visina troška opreme za centralno grejanje svedena na m^2 efektivne površine, za sve posmatrane objekte, za alternativu A_1 , iznosi $33,5 \text{ EUR/m}^2$, a kreće se u intervalu od

28 EUR/m² do 40 EUR/m². Vrednost troška za alternativu A₅, iznosi 22,6 EUR/m², a kreće se u intervalu od 19 EUR/m² do 26 EUR/m².

Primenjene mere energetske sanacije smanjuju visinu troška za priključenje na sistem "Beogradskih elektrana". Najmanja ušteda se ostvaruje kod alternative A₂, a najveća kod alternative A₅. Ukupno smanjenje visine troška priključenja razlikuje se od objekta do objekta. Ono se kreće od cca 4 % za alternativu A₂, a za alternativu A₅ vrednost uštede prelazi 50% za većinu posmatranih objekata.

Cena toplotne energije je računata i prikazana po dva osnova: cena izračunata na osnovu efektivne površine objekta i cena određena na osnovu izračunate Q_{H,nd} (kWh/a), godišnje potrebne energije za grejanje. Cena isporučene toplote, računata na bazi potrošene energije, u velikoj meri zavisi od primenjenim merama energetske sanacije objekta.

Trenutni paritet cena, za neizolovane objekte, afirmiše plaćanje po kvadratnom metru stana. To nije dobro jer bi osnovna postavka trebalo da se temelji na principu plati ono što potrošiš. Na bazi izvršene analize može se zaključiti da se puni pozitivni efekti primene sistema naplate isporučene energije na osnovu merenja potrošnje mogu očekivati tek nakon energetske sanacije objekata. Propuštena je pogodna prilika da se to uradi u okviru akcije priključenja 21.000 stanova.

Da su primenjene mere energetske sanacije (A₅) u akciji priključenja 21.000 stanova, gubici toplote bi se smanjili preko 100 W/m² tako da je instalirana snaga toplotnih izvora "BE" mogla biti manja za 138 MW. Na taj način mogla su se uštedeti sredstva za izgradnju toplotnih izvora u visini 11 od mil. EUR. Ulaganje u novu energiju na prirodni gas (kapaciteta do 50 MW) iznosi 80.000 EUR/MW [16].

Ukupna emisija ugljen-dioksida se sastoji od dve komponente: inicijalne i operativne. Inicijalna emisija CO₂ posledica je proizvodnje materijala korišćenih u energetske sanaciji objekata. Operativna emisija ugljen-dioksida nastala kao posledica zagrevanja objekata, računata je kumulativno za eksploatacioni period od 20 godina.

Veća ulaganja u energetske sanacije objekta smanjuju emisiju ugljen-dioksida u atmosferu. Kod alternative A₁ najveća je operativna emisija i ona je jednaka ukupnoj emisiji. Tek kod alternative A₅ veća je inicijalna emisija ugljen-dioksida od operativne, posmatrano na godišnjem nivou, za sve objekte, a kod alternative A₄ to važi samo za zgrade

7, 8 i 9. Prosečno procentualno učešće inicijalne emisije CO₂, u odnosu na ukupnu iznosi: 11,27% za alternativu 5, 4,44% za alternativu 4, 1,51% za alternativu 3 i za alternativu 2 je neznatno - manje od 1%. To ukazuje da je operativna emisija glavni problem i da je potrebno preduzeti mere za povećanje energetske efikasnosti objekata. Energetskom sanacijom smanjuje se ukupnu emisiju ugljen-dioksida od 2,72 (zgrada 4) do 3,28 (zgrada 3) puta.

Pre početka primene metode rangiranja odabrani su kriterijumi izbora alternative, ponderisani, odnosno težinski kvantifikovani kriterijumi i pojedini uticajni elementi. Metodom rangiranja nalazi se rešenje koje je najbolje po svim uspostavljenim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično, ili potpuno konfliktni.

Utvrđivanje prioriteta, ili hijerarhije kriterijuma odnosno određivanje relativnih odnosa među njima urađeno je pomoću Delfi metode. Ova metoda metodološki koristi znanja eksperata u cilju predviđanja budućih stanja, odnosno fenomena. Veći težinski faktor dobio je onaj kriterijum koji više doprinosi ostvarivanju postavljenih ciljeva.

Izračunavanje broja poena na osnovu kriterijuma *godišnje potrebna energija za grejanje* objekta pokazalo je da najveći broj poena (od 22,25 do 24,4, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangi sa nešto manje poena je alternativa A₄. Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija.

Broj poena određen na osnovu kriterijuma *koeficijent energetske sanacije* stavio je alternativa A₃ na prvo mesto. Ova alternativa daje najpovoljniji odnos uštede energije i uloženi sredstava u energetska sanaciju objekta.

Na osnovu kriterijuma *trošak opreme za centralno grejanje* objekta utvrđeno je da najveći broj poena (od 11,98 do 12,98, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangi, sa nešto manje poena, je alternativa A₄.

Nakon utvrđivanja broja poena na osnovu kriterijuma *trošak priključka objekta na sistem "BE"* konstatovano je da najveći broj poena (od 14,37 do 17,58, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Druga po rangi je alternativa A₄.

Alternativa A₅ ima najveći broj poena (od 28,06 do 30,77, zavisi od objekta) na osnovu kriterijuma *trošak eksploatacije*, a druga po rangi je alternativa A₄.

Određivanje broja poena na osnovu *ekološkog kriterijuma* pokazalo je da najveći broj poena (od 55,02 do 59,74, zavisi od objekta) ima alternativa A₅. Na kraju liste je alternativa A₁, kao najnepovoljnija.

Sprovedeno istraživanje je pokazalo da je alternativa A₅ bila prva po pet kriterijuma, od šest razmatranih, ima najviše poena na nivou svih posmatranih objekata, pa se može zaključiti da se radi o dominantnom rešenju.

Rezultati proračuna perioda povraćaja po objektima, pokazali su da se on kreće od osme godine (četiri zgrade) do četvrte godine (jedna zgrada). Preostale zgrade imaju period povraćaja u sedmoj godini (dve zgrade), u šestoj godini (dve zgrade), a u petoj i četvrtoj godini (po jedna zgrada).

Na kraju je računat period povraćaja za sve objekte priključene u okviru programa priključenja 21.000 stanova. Vrednosti relevantnih faktora izračunate su na bazi ukupne površine priključenih stanova i prosečnih vrednosti dobijenih ovim istraživanjem. Izračunati period povraćaja je u petoj godini životnog veka projekta.

Naučni cilj istraživanja ove doktorske disertacije bio je usmeren ka projektovanju modela komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata. Istraživanje je bilo usmereno ka identifikaciji i ocenjivanju faktora koji utiču na izbor najpovoljnije alternative i dobijanju određenih zakonitosti koje se mogu kasnije koristiti u praktične svrhe. Rezultat ovog naučnog istraživanja može jasno da definiše problem u oblasti povećanja energetske efikasnosti objekata značajnoj za koncept održivog razvoja i otvori prostor za jedan novi pristup donošenju odluka u uslovima ograničenih resursa.

Formirani sistem kriterijuma omogućava da se na najbolji način strukturira problem izbora i izvrši sveobuhvatna i objektivna ocena alternativnih rešenja.

Teorijski doprinos izloženog modela predstavlja uvođenje koeficijenta energetske sanacije, kao relativnog tehno-ekonomskog pokazatelja sledećih veličina: uštede godišnje potrebne energije za grejanje zgrada i troška predviđenih mera energetske sanacije.

S obzirom da je korišćeni uzorak sveobuhvatan, u smislu prisutnosti svih ključnih uticajnih faktora, rezultati istraživanja, bazirani na definisanoj uslovljenosti, mogu biti primenjeni u praksi. Metodologija koja proističe iz ovog istraživanja može se selektivno

koristiti u drugim sličnim slučajevima u cilju fokusiranja problema, efikasnosti njihovog otklanjanja i unapređenja upravljanja resursima.

Rezultat ovog naučnog istraživanja jasno je definisao problem u oblasti povećanja energetske efikasnosti zgrada. Projektovani model otvara prostor za jedan novi pristup donošenju odluka. Postoji širok dijapazon tema koje po svom značaju zaslužuju naučni pristup. Analiza energetske performansi zgrada i sistema, uključujući sisteme za grejanje, hlađenje, provetravanje i osvetljenje, otvaraju dovoljno veliki prostor za istraživanje. Projektovani model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata može pomoći u realizaciji predloženih istraživanja. Moguće je projektovani model dalje razvijati i usavršavati ili predložiti nove modele inženjersko-ekonomske analize u cilju unapređenja upravljanja resursima.

9.0 ZAKLJUČAK

Povećanje energetske efikasnosti objekata, toplotna zaštita objekata, ušteda svih vidova energije, korišćenje obnovljivih izvora energije i zaštita okoline danas su postali osnov održivog razvoja. Održivi razvoj se nametnuo i kao suštinski preduslov i kao krajnji cilj efikasne organizacije brojnih ljudskih aktivnosti na Zemlji. Ovom konceptu danas pripada centralno mesto u razmatranju dugoročne perspektive opstanka i napretka čovečanstva.

Postupak izbora projekta polazi od pretpostavke da su promene na makro planu predvidive i da se mogu kontrolisati posredstvom odgovarajuće strategije. Većina tehničkih, tehnoloških i drugih procesa može se opisati pomoću projekata. Problemi pravilnog izbora projekta predstavljaju najveća iskušenja modernog poslovanja. Upravljački izazov je istovremena optimizacija raznorodnih, tehničkih performansi i ekonomskih mogućnosti.

Modelom komparativne analize urađena je evaluacija sistema od pet upoređivanih (A_1, A_2, \dots, A_5) alternativa, u sistemu od šest kriterijuma (f_1, f_2, \dots, f_6), sa različitim relativnim značajem i sa različitim zahtevima za maksimumom ili minimumom po ustanovljenim kriterijumima.

Kada ne postoji savršeno rešenje zadatka VKO, u određivanju najboljeg rešenja presudnu ulogu ima donosilac odluke. On je taj koji odlučuje šta mu je važnije i koje rešenje radije prihvata ("preferira").

Konačnu odluku o izboru alternative donosi donosilac odluke koji ima složenu strukturu i nedovoljno izraženu preferenciju u postupku optimizacije. Metoda rangiranja se vrši upoređivanjem alternativa, na bazi izračunatih poena, pri rešavanju konkretnog problema odlučivanja.

U toku postupka optimizacije konkretnog problema donosilac odluke je unapred, pre rešavanja zadatka, iskazao svoj odnos prema kriterijumima, apriorni pristup. Utvrđen je prioritet ili hijerarhija kriterijuma, dodeljena težina pojedinim kriterijumima i određen relativni odnos između kriterijuma u okviru alternativa.

Donosilac odluke nije u obavezi da prihvati predloženo rešenje, ali mora da ga uvaži. Pojedininim kriterijumima značaj je dodeljen vodeći računa o ograničenjima ambijenta u kome se ocenjivanje vrši i procene kretanja njihove važnosti u životnom veku projekta. Rezultati istraživanja predstavljaju prilog kompleksnijem sagledavanju problema. Konačno rešenje pokazuje odnos autora ovog rada prema utvrđenim kriterijumima.

Energetska efikasnost, energetska sanacija objekata kao jedna od aktivnosti preduzetih u cilju njenog povećanja mora biti preferirana povoljnijim cenama, subvencijama i nekim drugim merama koje će omogućiti njenu široku primenu. Podsticajne mere se očekuju od kreatora energetske politike i institucija koje bi trebalo da vode računa o razvoju društva.

Ovaj rad, model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata, je pokazao da je nužno menjati odnose u okruženju u kojem živimo. Da li je zanemarivanje problema slabe izolovanosti objekata u trenutku vođenja akcije priključenja stanova posledica loših navika, nedovoljno proverenog iskustva, neznanja, niskog nivoa svesti o važnim pitanjima, nebrige i slično? Ambicija ovog rada nije da odgovori na poslednje pitanje nego da jasno definiše problem u oblasti povećanja energetske efikasnosti objekata i otvori prostor za jedan novi pristup donošenju odluka u uslovima ograničenih resursa.

Ako bi se slična analiza radila u doglednoj budućnosti, ekološki kriterijum bi imao, verovatno, još veću relativnu težinu. Nivo primenjenih mera energetske sanacije predviđen alternativom A₅ je bolji nego "jako dobra izolacija" od pre par godina, ali pokazanim napretkom ne sme se biti zadovoljan. Permanentno se moraju unapređivati energetske performanse zgrada i sistemi vezani za energetske efikasnost objekata.

Potvrđena je polazna hipoteza ove doktorske disertacije da je moguće projektovati model komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata. Istraživanje je pokazalo da projektovani model pruža kvalitativno bolje rešenje u dokazivanju drugih hipoteza vezanih za povećanje energetske efikasnosti, nekontrolisanu potrošnju energije, karakteristike objekata i da primenjena metoda višekriterijumskog rangiranja pouzdanije i preciznije rangira alternative.

Naučni cilj istraživanja ove doktorske disertacije je postignut projektovanjem modela komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih zgrada. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je moguće jasno definisati probleme u oblasti povećanja energetske efikasnosti objekata i otvorili su prostor za jedan novi pristup donošenju odluka u uslovima ograničenih resursa. Projektovani model predstavlja jedan od mogućih pristupa rešenju uočenog problema.

U toku istraživanja uveden je koeficijent energetske sanacije, kao relativni tehnološko-ekonomski pokazatelj, koji daje visinu uštede godišnje potrebne energije za uloženu novčanu jedinicu troška predviđenih mera energetske sanacije.

Projektovani inženjersko-ekonomski model, komparativne analize investicionih alternativa u funkciji povećanja energetske efikasnosti stambenih objekata doprinosi unapređenju industrijskog inženjerstva u domenu energetske efikasnosti objekata.

LITERATURA

- [1] A. Avgelis, A.M. Papadopoulos, Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems, *Energy and Buildings* 2009, 41(7), pp 774-780.
- [2] A. L. Linden, A. Carlsson-Kanyama, B. Eriksson, Efficient and inefficient aspects of residential energy behavior: what are the policy instruments for change? *Energy Policy* 2006, 34, pp 1918–1927
- [3] A. Mwashia, R. G. Williams, J. Iwaro, Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators, *Energy and Buildings* 2011, 43, (9), pp 2108-2117.
- [4] A. Papadopoulos, A. Stylianou, Oxizidis S, Impact of energy pricing on buildings' energy design, *Journal: Management of Environmental Quality* 2006, An International Journal, Vol. 17, Issue 6, pp 753-761.
- [5] A. R. Ravindran, *Operations research methodologies*, CRC Press, 2008.
- [6] A. Sobotka, Z. Rolak, Multi-Attribute Analysis For The Eco-Energetic Assessment Of The Building Life Cycle, Technological and Economic development of Economy Baltic *Journal on Sustainability* 2009, 15(4), pp 593–611.
- [7] BASF SE, www.styrodur.com, Internet
- [8] B. Jafarizadeh, R. R. Khorshid-Doust, A method of project selection based on capital asset pricing theories in a framework of mean - semideviation behavior, *International Journal of Project Management* 2008, 26, pp 612–619
- [9] B. Todorović, *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*, Mašinski fakultet, Beograd, 2009.
- [10] B. Živković i Z. Stajić, *Mali termotehnički priručnik*, SMEITS, 2003.
- [11] *Building for a Sustainable Future: Construction without Depletion*, The Institution of Structural Engineers, 1999.
- [12] C. A. Roulet, F. Flourentzou, H. H. Labben, M. Santamouris, I. Koronaki, E. Dascalaki, V. Richalet, A multicriteria rating methodology for buildings, *Building and Environment* 2002, 37(6), pp 579-586.
- [13] C. Diakaki, E. Grigoroudis, D. Kolokotsa, Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings , *Energy and Buildings* 2008, 40 (9), pp 1747-1754.

- [14] Ch. Stoy, S. Pollalis, D. Fiala, Estimating buildings' energy consumption and energy costs in early project phases, *Journal: Facilities* (2009), Vol. 27, Issue 5/6, pp 187-201
- [15] C. von Trott, External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) in Europe – under the EU Energy Policies 2020, European Association for ETICS, Available at: <http://www.yalitimkonferansi2010.org/assets/Uploads/1-Clemens-Von-Trott.pdf> [preuzeto 8.3.2011]
- [16] D. Brkić, T. Tanasković, Systematic approach to natural gas usage for domestic heating in urban areas, *Energy* 2008, 33, pp 1738–1753
- [17] D. D. Milanović i M. Misita, Informacioni sistemi podrške upravljanju i odlučivanju, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [18] D. Lj. Milanović, Metoda perioda povraćaja sa vremenskim faktorom, Mašinski fakultet, Beograd, 2006.
- [19] D. Lj. Milanović, D. D. Milanović i M. Misita, Primena metoda rangiranja u oceni inženjerskih investicionih projekata, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [20] D. Lj. Milanović, R. Dubonjic: Use of the Elasticity of Net Present Value in Risk Analysis of Engineering Investments Projects, *FME Transactions*, Volume 33, Number 1, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade 2005, pp. 47-51.
- [21] DEL NIK, Interna dokumentacija, Beograd, Srbija
- [22] E. Borgonovo, L. Peccati, Sensitivity analysis in investment project evaluation, *International Journal of Production Economics* 2004, 90, pp 17-25
- [23] E. F. Dzenajavičiene, V. Kveselis, C. McNaught, M. Tamonis, Economic analysis of the renovation of small-scale district heating systems - 4 Lithuanian case studies, *Energy Policy* 2007, 35, pp 2569–2578
- [24] Ekologija sagorevanja, Rudarsko geološki fakultet www.rgf.rs/Internet
- [25] Energy Performance of Buildings Directive - EPBD), broj 2002/91/ES
- [26] The European Alliance of Companies for Energy Efficiency in Buildings (EuroACE), Towards Energy Efficient Buildings in Europe, Final Report, June 2004, With Update of Annexes, July 2005 - Available at: http://www.euroace.org/MediaPublications/Publications_Reports.aspx [preuzeto 7.2.2011]
- [27] EUROPA- the official web site of the European Union [internet]. Brussels, Belgium: Energy 2020 - A strategy for competitive, sustainable and secure energy - Available at: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_energy2020_en.pdf [preuzeto 10.3.2011].

- [28] G. Augenbroe, D. Castro, K. Ramkrishnan, Decision model for energy performance improvements in existing buildings, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 2009, 7, pp 21-36
- [29] GLASS MANUFACTURING, „Environmental, Health, and Safety Guidelines”, “IFC www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/, Internet
- [30] H. Alwaer, D.J. Clements-Croome, Key performance indicators (KPIs) and priority setting in using the multi-attribute approach for assessing sustainable intelligent buildings, *Building and Environment* 2010, 45(4), pp 799-807.
- [31] H.-J. Moriske, M. Drews, G. Ebert, G. Menk, C. Scheller, M., Schandube, Indoor air pollution by different heating systems: coal burning, open fireplace and central heating, *Toxicology Letters* 88 1996, pp. 349-354
- [32] J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, *Multiobjective optimization: interactive and evolutionary approaches*, Springer-Verlag Berlin Heilderberg, ISBN 3-540-88907-8, Germany, 2008
- [33] J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*, Springer Science + Business Media Inc., ISBN 0-387-23067-X, New York, 2005
- [34] J. Foster, T. Mitra, Ranking investment projects, *Economic Theory* 2003, 22, pp 469-494
- [35] J. Jackson, Promoting energy efficiency investments with risk management decision tools, *Energy Policy* 2010, 38, pp 3865–3873
- [36] J. N. Hacker, T. P. De Saulles, A. J. Minson, M. J. Holmes, Embodied and operational carbon dioxide emissions from housing: A case study on the effects of thermal mass and climate change, *Energy and Buildings* 2008, 40, pp. 375–384
- [37] JKP Beogradske elektrane, Internet
- [38] JKP Beogradske elektrane, Služba marketinga
- [39] J. O. Jaber, Q. M. Jaber, S. A. Sawalha, M. S. Mohsen, Evaluation of conventional and renewable energy sources for space heating in the household sector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008, , 12(1), pp 278-289.
- [40] J. R. Fanchi., *Energy: Technology and directions for the future*, Elsevier Academic Press, USA 2004
- [41] LAROUSE, *Velika opšta ilustrovana enciklopedija*, Beograd, 2010.
- [42] Long-term trend in global CO₂ emissions. 2011 report, www.pbl.nl/en/ Internet

- [43] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, J. F. Coronel, I. R. Maestre, A review of HVAC systems requirements in building energy regulations, *Energy and Buildings* 2011, 43(2–3), pp 255–268.
- [44] L. Tupenaite, E. K. Zavadskas, A. Kaklauskas, Z. Turskis, M. Seniut, Multiple Criteria Assessment Of Alternatives For Built And Human Environment Renovation, *Journal Of Civil Engineering And Management* 2010, 16(2), pp 257–266.
- [45] M. Bojic, D. Loveday, The Influence of the Distribution of Isolation and Masonry in Three Layered Building Envelope on Thermal Behavior of the Building, *Energy and Buildings* 1997, 26(2), pp 153-157.
- [46] M. Ehrgott: X. Gandibleux, Multiple criteria optimization: state of the art annotated bibliographic surveys, Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-7128-0, USA, 2002
- [47] M. Jovanović, N. Afgan, P. Radovanović, V. Stevanović, Sustainable development of the Belgrade energy system, *Energy* 2009, 34, pp 532– 539.
- [48] M. Jovanović, N. Afgan, V. Bakić, An analytical method for the measurement of energy system sustainability in urban areas, *Energy* 2010, 35, pp 3909-3920
- [49] M. Košir, A. Krainer, M. Dovjak, R. Perdan, Ž. Kristl, Alternative to the Conventional Heating and Cooling Systems in Public Buildings, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 2010, 56, pp 575-583.
- [50] M. Radojičić, M. Žižović, Primena metoda višekriterijumske analize u poslovnom odlučivanju, Monografija, Tehnički fakultet, Čačak, 1998.
- [51] M. Radojičić, Z. Nešić, J. V. Vasović, Some considerations on modern concepts of management information systems, XXXVII Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS, Tara 2010, pp 291-294.
- [52] M. Vujošević, Operaciona istraživanja-Izabrana poglavlja, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1999.
- [53] M. W. Carter, C. C. Price, Operations research: a practical introduction, CRC Press, 2000
- [54] O. G. Santin, L. Itard, H. Visscher, The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock, *Energy and Buildings* 2009,41 , pp 1223–1232.
- [55] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, "Sl. glasnik RS", br. 61/2011
- [56] R. Dubonjić i D. Lj. Milanović, Inženjerska ekonomija, Fakultet za industrijski menadžment, Kruševac 2005.
- [57] R. Dubonjić i D. Lj. Milanović, Komplementarnost senzitivne i kritične analize u oceni rizika investicionih projekata, Internet

- [58] R. Jovanović, Upravljanje projektom, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2004.
- [59] Republički zavod za statistiku, Republika Srbija, Internet
- [60] R. Ginevicius, V. Podvezko, S. Raslanas, Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 2008, 14(4), pp 217-226.
- [61] R. Lowe, M. Bell, Building regulation and sustainable housing. Part 2: technical issues, *Journal: Structural Survey* 2000, Vol. 18, Issue 2, pp 77-88.
- [62] S. I. Gass, C. M. Harris, *Encyclopedia of operations research and management science*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.2001
- [63] S. Önüt, U. R. Tuzkaya, N. Saadet, Multiple criteria evaluation of current energy resources for Turkish manufacturing industry, *Energy Conversion and Management*, 2008, 49(6), pp 1480-1492.
- [64] S. Opricović, Višekriterijumska optimizacija, Naučna knjiga, Beograd, 1986.
- [65] Stoiljković, Vukadinović, Operaciona istraživanja, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1984.
- [66] Studija stambenog sektora Srbije, Ministarstvo životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja; Republika Srbija, Internet
- [67] S. Wilkinson, R. Reed, Office building characteristics and the links with carbon emissions, *Journal: Structural Survey* 2006, Vol. 24, Issue 3, pp 240-251.
- [68] T.C. Kouloura, K.N.Genikomsakis, A.L. Protopapas, Energy management in buildings: A systems approach, *Systems Engineering* 2008, 11(3), pp 263–275.
- [69] The UN official site, <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/SeriesDetail.aspx?srid=749>, Internet
- [70] U. Soytaska, R. Saria, Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member, *Ecological Economics* 2009, 68, pp 1667 – 1675.
- [71] V. Barichard, V. T'kindt, M. Ehrgott, X. Gandibleux, *Multiobjective programming and goal programming: theoretical results and practical applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-85645-0, Berlin, 2009
- [72] V. Bulat, *Industrijski menadžment*, Fakultet za industrijski menadžment, Kruševac 1997.
- [73] W. K. Fong, H. Matsumoto, Y. F. Lun, Application of System Dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities, *Building and Environment* 2009, 44, pp 1528–1537.

- [74] Z. Chen, D. Clements-Croome, J. Hong, H. Li, Q. Xu, A multicriteria lifespan energy efficiency approach to intelligent building assessment, *Energy and Buildings* 2006, 38(5), pp 393-409.
- [75] Z. Chen, Facilities intelligence and evaluation: A multi-criteria assessment approach, *Energy and Buildings* 42(5) (2010) 728-734.
- [76] Ž. Ralić, M. Radojičić, Z. Nešić, D. D. Milanović, D. Lj. Milanović, Development of a model for optimization of central heating system selection, *TTEM* 2011, 6(2), pp 432-437.
- [77] Ž. Ralić, M. Radojičić, Z. Nešić, D. D. Milanović, D. Lj. Milanović, Selection of central heating systems with the increase of the energy efficiency, *Metalurgija international* 2012, 17(4), pp 201-208.
- [78] Ž. Ralić, Komparativna analiza metode rangiranja i metoda investicionog odlučivanja, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd 2010.
- [79] Ž. Ralić, The compromise ranking method for boiler selection, *SIE* 2009, Mašinski fakultet, Beograd 2009.
- [80] Ž. Ralić, D. Lj. Milanović, D. D. Milanović, M. Misita, Izbor energenta metodom neto sadašnje vrednosti, *SYM-OP-IS, Tara* 2010., pp 145-148
- [81] Ž. Ralić, J. V. Vasović, S. Vasović, M. Radojičić, Multi-criteria approach to the increase of energy efficiency of the residential object, *ECOS*, Novi Sad 2011, pp 2036-2046

BIOGRAFIJA

Ime i prezime: Živko Ralić
Datum Rođenja: 02.07.1953.
Mesto rođenja: Vinkovci, Jugoslavija
Porodično stanje: Oženjen, jedno dete

Školovanje:

1960. – 1968. Osnovna škola u Vinkovcima
1968. – 1972. Gimnazija u Vinkovcima
1972. – 1978. Mašinski fakultet u Beogradu
21.04.1978. Diplomirao na Mašinskom fakultetu u Beogradu
1978. – 1979. Redovni vojni rok
1979. – 1981. Poslediplomske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu
2009. Nastavio poslediplomske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu
16.04.2010. Odbranjen magistarski rad na Mašinskom fakultetu u Beogradu sa temom: **Komparativna analiza metode rangiranja i metoda investicionog odlučivanja**

Kretanje u poslu

1978. "Đuro Đaković" Slavonki Brod
1979. – 1991. "Tehnoprojekt" Vinkovci
1991. – 1996. "NIK" Privatna firma
1996. – 2000. "Delta inženjering" Beograd
2000. – "DEL NIK" privatna firma

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани Живко Н. Ралић

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Модел компаративне анализе инвестиционих алтернатива у функцији повећања енергетске ефикасности стамбених објеката

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

Потпис докторанда



У Београду, 25.06.2012.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Живко Н. Ралић

Наслов рада МОДЕЛ КОМПАРАТИВНЕ АНАЛИЗЕ ИНВЕСТИЦИОНИХ
АЛТЕРНАТИВА У ФУНКЦИЈИ ПОВЕЋАЊА ЕНЕРГЕТСКЕ
ЕФИКАСНОСТИ СТАМБЕНИХ ОБЈЕКТА

Ментор Проф. др Драган Љ. Милановић

Потписани Живко Н. Ралић

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

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

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

Потпис докторанда



У Београду, 25.06.2012.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

МОДЕЛ КОМПАРАТИВНЕ АНАЛИЗЕ ИНВЕСТИЦИОНИХ
АЛТЕРНАТИВА У ФУНКЦИЈИ ПОВЕЋАЊА ЕНЕРГЕТСКЕ
ЕФИКАСНОСТИ СТАМБЕНИХ ОБЈЕКТА

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда



У Београду, 25.06.2012.
