

# Predikcija energetske performansi sistema sa toplotnom pumpom (metodom BIN) na primeru poslovne zgrade UNIQA

Energy performance prediction (by BIN method) of a system with heat pump applied to UNIQA building

Marko G. IGNJATOVIĆ, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš  
Slobodan PEJKOVIĆ, Filter Frigo d.o.o. Beograd

Ključne reči: energetska efikasnost; toplotna pumpa; metoda BIN; poslovna zgrada; Srbija

*Predikcija energetske performansi zgrade je veoma bitna jer omogućava inženjerima da, između ostalog, evaluiraju potrošnju energije kao i troškove redovnog korišćenja sistema. Postoje brojne metode za predikciju, od prostih do veoma kompleksnih, ali je izbor odgovarajuće metode jednako važan kao i činjenica da metode predikcije treba koristiti u svakodnevnom poslu. U ovom radu prikazana je predikcija potrošnje energije i procena operativnih troškova metodom BIN pri realizaciji sistema rekuperacije otpadne toplote na primeru poslovne zgrade u Beogradu. Predloženo rešenje rekuperacije otpadne toplote postavljanjem toplotne pumpe između otpadnog i svežeg vazduha upoređeno je sa postojećim sistemom pripreme vazduha za klimatizaciju i pokazano je da postoji veliko smanjenje troškova pripreme vazduha, u iznosu blizu 85%. Primenjena metodologija nije kompleksna i može biti primenjivana u svim aplikacijama toplotnih pumpi gde se kao izvor koristi vazduh, pod pretpostavkom da postoje adekvatni klimatski podaci. Dodatno, predstavljen je načina generisanja potrebnih podataka BIN iz podataka sadržanih u tipičnoj meteorološkoj godini.*

Key words: energy efficiency; heat pump; BIN method; office building; Serbia

*Building energy performance prediction is very important since allows engineers to evaluate, among others, system operation energy consumption and costs. Many different methods exist for performance prediction, from simple to very complex, but choosing an appropriate method is as important as using methods regularly. In this paper, estimation of energy consumption and costs with BIN method was performed for refurbishing air conditioning system in office building in Belgrade. The proposed heat recovery from exhaust air by installing a heat pump system between exhaust and fresh air had been compared to existing system and has shown great cost reduction for air preparation of nearly 85%. The methodology applied is not computationally intensive and can be done regularly for heat pump systems with air as a heat source if proper weather data for location are provided and generated. In addition, one way to generate necessary BIN data from regularly available typical meteorological year was shown.*

## 1. Uvod

Kontinualno unapređenje energetske performansi zgrada predstavlja jedan od najvećih izazova XXI veka (u sektorima zgradarstva i energetike), jer sektor zgradarstva učestvuje sa 40% potrošnje finalne energije u EU [1], i sa više od 40% potrošnje primarne energije u SAD [2]. Situacija u Republici Srbiji je slična jer sektor zgradarstva učestvuje sa 50% ukupnoj potrošnji energije [3].

Navedeni procenti se neće značajno smanjiti u skorijoj budućnosti, ali se može smanjiti udeo sistema KGH u potrošnji energije zgrade primenom inovativnih koncepata, najsavremenijih sistema regulacije i upravljanja, primenom rekuperacije energije, obnovljivih izvora itd. Sa druge strane, naročito je važno da inženjeri imaju znanja, veštine i odgovarajuće alate kojima će moći da vrše realne procene potrošnje energije projektovanih sistema i da ulože dodatni napor pri nalaženju energetske najmanje intenzivnih rešenja, kako za nove zgrade, tako i pri rekonstrukciji postojećih.

Potrošnja energije sistema KGH je posledica veoma kompleksne interakcije između spoljašnjih klimatskih uslova, iz-

gleda i oblika zgrade, korišćenih materijala, predviđenih sistema KGH, načina njihovog rada, unutrašnjih dobitaka toplote (od ljudi, sistema osvetljenja, električnih aparata i uređaja) i ponašanja korisnika zgrade. Za predikciju energetske performansi postojećih zgrada, najbolji način za dobijanje kvalitetnih ulaznih podataka za proračun bilo kog nivoa kompleksnosti, jeste odgovarajućim merenjima na sistemima i sprovođenjem preliminarnih i/ili detaljnih energetske pregleda zgrade. Kako u najvećem broju situacija ne postoje dugoročna merenja (izuzev podataka sa računara isporučio- ca električne i/ili toplotne energije ili nekog od energenata), inženjerima preostaju projektna dokumentacija i metode za predikciju energetske performansi.

## 2. Ukratko o metodama za predikciju energetske performansi

Postoji nekoliko metoda predikcije energetske performansi sa različitim nivoima tačnosti. Svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke (ograničenja), međutim primenljivost određene metode za sve kombinacije vrste zgrade i sistema

\* Autor za korespondenciju: marko.ignjatovic@masfak.ni.ac.rs

Rad je izložen na 53. Međunarodnom kongresu i izložbi o KGH i objavljen u zborniku toga skupa na engleskom jeziku.

je upitna, i mora se razmatrati pojedinačno, od zgrade do zgrade. Uopšteno, sve metode predikcije pripadaju jednoj od triju kategorija: jednoparametarske metode, višeparametarske metode, ili detaljne simulacione metode.

Jednoparametarske metode razmatraju uticaj samo jednog parametra (najčešće klimatskih i to po pravilu temperature spoljašnjeg vazduha po suvom termometru ili stepen-dan), pri čemu je metoda stepen-dan (sa fiksnom i promenljivom bazom) najrasprostranjenija. Iako se ova metoda koristi kod nas za sve tipove zgrada i sistema KGH, njena primena je opravdana samo u stambenim zgradama sa bazičnim sistemima grejanja. Metoda je jednostavna za razumevanje i primenu jer koristi stepen-dane koji su dostupni za većinu naseljenih mesta u Republici Srbiji [4].

Višeparametarske metode su kvazi-stacionarne i kod njih se jednačine energetskog bilansa zgrada/zona postavljaju imajući u vidu i dinamičke promene u toplotnoj zoni. Najmanje dva parametra spoljašnjeg vazduha se uzima u obzir (temperatura po suvom termometru i jedan od parametara vlažnosti). Ove metode su primenljive u sistemima kod kojih se efikasnost menja sa parcijalnim opterećenjem i spoljašnjim uslovima (npr. sistemi sa toplotnim pumpama) jer uzimaju u obzir i promene solarnih i unutrašnjih dobitaka. Metoda BIN i modifikovana metoda BIN najpoznatije su metode iz te grupe i zahtevaju unapred definisanu strukturu klimatskih podataka. Metoda BIN ne zahteva značajne računarske resurse, može da se koristi i *ručno*, ali za Republiku Srbiju ne postoje adekvatni klimatski podaci, izuzev par izuzetaka [5].

Detaljne simulacione metode sadrže detaljne proračune energetskih potreba zgrade sa ciljem održavanja zadatih unutrašnjih uslova pri promenljivim spoljašnjim uslovima i unutrašnjem opterećenju. Jednačine toplotnog bilansa se rešavaju u intervalima dosta kraćim od jednog sata uzimajući u obzir fizikalnost procesa, tj. fizička svojstva zgrade i svih sistema koje je opslužuju, kao i dinamičke promene u toplotnom opterećenju izazvane spoljnim i unutrašnjim uticajima. Ovim metodama se vrše predikcije potrošnje energije na godišnjem nivou, za šta se koriste klimatski podaci visoke rezolucije. Ove metode su osnova simulacionih softvera kao što su EnergyPlus, TRNSYS, IES-VE i drugi. Primena u Republici Srbiji je veoma ograničena zbog specifičnih znanja potrebnih za korišćenje navedenih alata, nedostatka vremena da se kreiraju valjani simulacioni modeli, potrebi da se koriste značajni računarski resursi, iako su klimatski podaci potrebni za rad alata dostupni za veliki broj gradova [6].

### 2.1. Metode BIN

Osnovna i modifikovana metoda BIN zasnovane su na konceptu da se spoljašnje toplotno opterećenje (preko omotača zgrade, kao i opterećenje usled infiltracije) mogu predstaviti kao linearna funkcija temperature spoljašnjeg vazduha po suvom termometru, sa razlikom da se kod modifikovane metode opterećenje od sunčevog zračenja i unutrašnjih izvora predstavlja u funkciji vremena. U obe metode je moguće uključiti parcijalno opterećenje i rad sistema na parcijalnom opterećenju i dozvoljavaju predikciju sezonskih koeficijenta grejanja i hlađenja toplotnih pumpi.

Da bi se ove metode koristile, potrebno je da postoje tzv. podaci BIN – specifični klimatski podaci [5], generisani iz du-

gotrajnih merenja klimatskih parametara određene lokacije. Opseg između minimalne i maksimalne zabeležene temperature (ili nekog drugog klimatskog parametra) se deli u intervale (binove), i broji se učestalost pojavljivanja datog intervala u konkretnom satu jednog dana, meseca i godine. Za spoljašnju temperature interval je najčešće 2 °C, dok se svaki dan deli na period kada je zgrada zauzeta i kada je prazna sa daljom podelom (najčešće je dan podeljen u smene od po četiri časa). Jednačine toplotnog bilansa koje se koriste opisane su u literaturi [7, 8].

## 3. Poslovna zgrada UNIQA i predloženo rešenje rekuperacije energije

Poslovna zgrada UNIQA se nalazi na Novom Beogradu i čine je podrum, prizemlje i dva sprata. Zgrada je modernog dizajna sa značajnim udelom transparentnih površina na omotaču zgrade (slika 1).

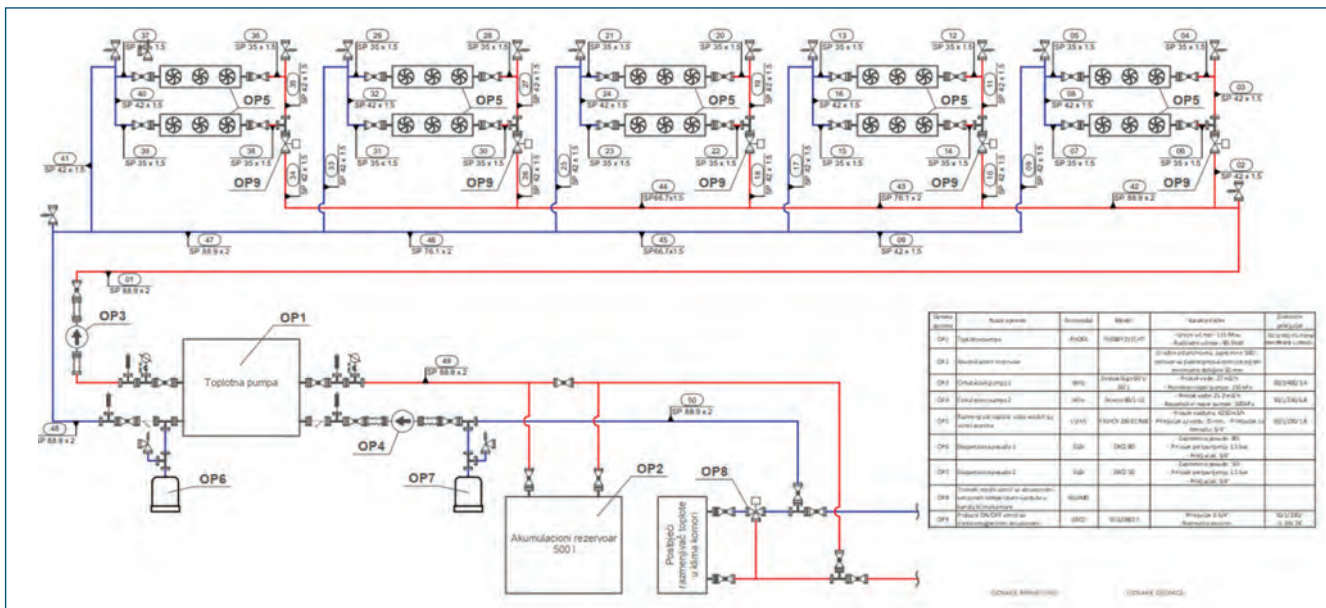


Slika 1. UNIQA Beograd (levo južna fasada, desno severna fasada) [9]

Pored garaže, u podrumu se nalaze i dodatne prostorije (tehničke sale za smeštaj opreme namenjene grejanju, hlađenju i ventilaciji). U prizemlju se nalaze kancelarije, PR sobe i restorani, dok se na spratovima nalaze kancelarije različitih veličina. Zgrada ima ravan krov na kome je smeštena oprema za ventilaciju.

Sistemi KGH koji opslužuju zgradu (na strani potreba, sekundarni sistemi) su dvoceni sistem ventilator-konvektora i jednokanalnim sistem klimatizacije konstantnog protoka (sistem sa 100% svežim vazduhom). Ventilatori klima-komore opremljeni su frekventnim regulatorima što daje mogućnost promene protoka u cilju postizanja zadatih unutrašnjih parametara. Na strani isporuke energije (primarni sistemi) postoje toplotna podstanica preko koje JKP „Beogradske elektrane“ snabdevaju toplotnom energijom kao i dve toplotne pumpe tipa vazduh–voda. Zonska oprema (ventilator-konvektori i klima-komora) imaju po jedan razmenjivač tipa grejač-hladnjak. Pripremljeni vazduh se iz klima-komore, kanalskim razvodom dovodi do zonskih ventilator-konvektora u kojima se meša sa recirkulacionim vazduhom i po potrebi dodatno zagreva odnosno hladi. Odsis se vrši preko posebnih krovskih ventilatora koji su grupisani u pakete (ukupno pet paketa po tri ventilatora).

Kako nije predviđena sekcija rekuperatora kao ni mešačka sekcija u klima-komori, postoji značajan potencijal za rekuperacijom energije iz otpadnog vazduha (protok veći od 16000 m<sup>3</sup>/h). Kanali svežeg i otpadnog vazduha su izvedeni na suprotnim krajevima zgrade (podrum i krov) pa dodavanje sekcije rekuperatora nije opravdano. Usled ograničenja veličine prostorije za smeštaj klima-komore nije moguća ni zamena postojećeg razmenjivača. Preostalo rešenje, bez prevelikih intervencija na kanalskoj mreži, jeste da se ubaci



Slika 2. Šema predloženog rešenja rekuperacije toplote [9]

sistem rekuperacije sa međufluidom i da se on unapredi dodavanjem toplotne pumpe kao na slici 2. U režimu grejanja, voda za klima-komoru se priprema preko kondenzatorske strane toplotne pumpe gde se preko trokrakog ventila svež vazduh šalje i zagreva na zadanu vrednost.

Kao izvor toplotne pumpe koristi se toplota iz otpadnog vazduha dodavanjem suvih hladnjaka i mešanjem otpadnog i spoljašnjeg vazduha u svakom od pet paketa krovnih ventilatora. Toplota se prenosi radnom fluidu kruga toplotne pumpe (glikol) koji je povezan sa isparivačkom stranom toplotne pumpe. Svaki paket krovnih ventilatora je opremljen sa dva suva hladnjaka. Režimi rada toplotne pumpe su 45/40 °C i 6/10 °C u režimu grejanja odnosno hlađenja.

#### 4. Predikcija energetskih performansi predloženog rešenja rekuperacije toplote

Za potrebe predikcije energetskih performansi predloženog rešenja primenjena je metoda BIN na strani isporuke (primarni sistemi), uz dodatno izračunavanje potrošnje energije u klima-komori.

Za potrebe proračuna, kako postojećeg tako i poboljšanog stanja, važe sledeće pretpostavke.

- U oba slučaja, protoci pripremljenog i otpadnog vazduha su konstantni i iznose po 16000 m<sup>3</sup>/h sa gustinom vazduha od 1,2 kg/m<sup>3</sup> i specifičnim toplotnim kapacitetom od 1.005 kJ/kgK.
- Temperatura otpadnog vazduha zimi jednaka je zimskoj unutrašnjoj projektnoj temperaturi i iznosi 22 °C.
- Temperatura otpadnog vazduha leti jednaka je letnjoj unutrašnjoj projektnoj temperaturi od 26 °C.
- Zadana temperatura pripremljenog vazduha zimi je konstantna i iznosi 22 °C za postojeći sistem, dok kod novog sistema varira između 18 °C i 20 °C.
- Entalpija pripremljenog vazduha leti je konstantna u svim slučajevima i iznosi 54 kJ/kg.
- Sistem je u pogonu 07:00–18:00 h ukoliko je spoljašnja temperatura niža od 18 °C (režim grejanja) ili viša od 25 °C (režim hlađenja), dok je u svim ostalim slučajevima u režimu ventilacije.
- Za predloženi sistem rekuperacije, protok svežeg vazduha na suvim hladnjacima može se menjati u zavisnosti od spoljašnje temperature.

- Parametri toplotne pumpe su linearni između karakterističnih tačaka u režimima rada.
- Postojeći sistem ventilator-konvektora je dovoljnog kapaciteta da održava unutrašnju projektnu temperaturu u svim slučajevima.
- Smanjenje troškova je izračunato na osnovu prosečnih jednodušnijih jediničnih cena isporučioaca toplotne i električne energije (8,39 kWh/RSD za toplotnu energiju iz sistema daljinskog grejanja i 5,44 RSD/kWh za električnu energiju).

Prvi korak u primeni metode je kreiranje odgovarajuće klimatske datoteke za Beograd.

Za potrebe ove analize, preuzeti su klimatski podaci sadržani u tipičnoj meteorološkoj godini (TMY) za Beograd, a zatim su temperature spoljašnjeg vazduha podeljene u intervale od po 2 °C, dok su dani podeljeni u dva perioda kada se zgrada ne koristi (01:00-06:00 h i 19:00-24:00 h) i jedan period kada se zgrada koristi od 07:00-18:00 h.

Iz datoteke tipične meteorološke godine preuzeti su i podaci o relativnoj vlažnosti i atmosferskom pritisku, kako bi se izračunala entalpija spoljašnjeg vazduha u karakterističnim opsezima temperature i periodima dana.

Rezultati su prikazani tabelom 1 i slikom 3.

Parametri usvojene toplotne pumpe prikazani su u tabelama 2–4.

#### 5. Rezultati i diskusija

Predikcija energetskih performansi postojećih sistema klimatizacije i predloženog rešenja rekuperacije toplote prikazana je tabelama 5 i 6 korišćenjem osnovnih jednačina i navedenih pretpostavki.

Iz prethodnih tabela očigledno je da sistem rekuperacije sa toplotnom pumpom može da smanji energiju potrebnu za zagrevanje vazduha u klima-komori za 27,07%.

Smanjene troškova je značajno veće, naročito u režimu grejanja jer je smanjenje troškova skoro 88%, dok u režimu hlađenja smanjenje troškova direktna posledica ušteda u električnoj energiji u iznosu od 21,48%.

Prethodno je najbolje ilustrovano slikama 4–6.

Tabela 1. BIN klimatski podaci za Beograd dobijeni iz TMY

Temperatura vazduha			Broj pojavljivanja u danu [h]				Izračunati parametri spoljašnjeg vazduha		
Temperaturski opseg [°C]		Temperatura u sredini opsega [°C]	01:00-06:00	07:00-18:00	19:00-24:00	Ukupno	MCWB [°C]	Entalpija [kJ/kg]	Entalpija (07:00-18:00) [kJ/kg]
-11	-9	-10	5	2	2	9	-10,26	-6,42	-7
-9	-7	-8	12	5	4	21	-8,72	-4,27	-4
-7	-5	-6	16	25	13	54	-6,78	-1,48	-2
-5	-3	-4	25	53	33	111	-4,93	1,31	1
-3	-1	-2	72	120	51	243	-2,72	4,84	5
-1	1	0	165	233	130	528	-1,14	7,49	7
1	3	2	142	234	130	506	0,75	10,83	11
3	5	4	155	249	109	513	2,59	14,17	14
5	7	6	178	247	150	575	4,34	17,48	17
7	9	8	167	290	172	629	6,10	21,01	21
9	11	10	182	258	165	605	7,76	24,53	24
11	13	12	195	292	165	652	9,43	28,28	27
13	15	14	192	276	144	612	11,25	32,66	31
15	17	16	169	298	173	640	12,88	36,81	35
17	19	18	183	337	180	700	14,56	41,38	39
19	21	20	146	322	136	604	16,10	45,72	45
21	23	22	122	318	124	564	16,91	48,07	47
23	25	24	58	224	125	407	17,81	50,82	50
25	27	26	6	195	107	308	18,58	53,23	55
27	29	28	0	190	58	248	19,47	56,07	58
29	31	30	0	128	16	144	20,02	57,90	62
31	33	32	0	65	3	68	20,82	60,57	64
33	35	34	0	15	0	15	20,59	59,53	68
35	37	36	0	3	0	3	21,49	62,95	72
37	39	38	0	1	0	1	22,73	67,66	75

Tabela 2. Karakteristika suvog hladnjaka (drycooler)

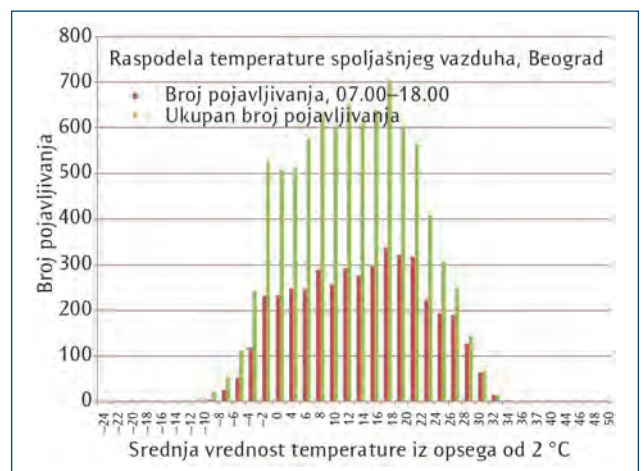
Grejanje		Hlađenje	
Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Protok svežeg vazduha [m <sup>3</sup> /h]	Temperatura spoljašnjeg vazduha, [°C]	Protok svežeg vazduha [m <sup>3</sup> /h]
-5	19000	25	9000
0	14000	30	14000
5	9000	35	19000
10	4000	-	-
15	0	-	-

Tabela 3. Kapacitet grejanja/hlađenja toplotne pumpe

Grejanje		Hlađenje	
Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Kapacitet [kW]	Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Kapacitet [kW]
-5	115,4	25	61,6
0	120,2	30	63,5
5	81,9	35	90,9
10	70,4	-	-
15	78,7	-	-

Tabela 4. Apsorbovana snaga toplotne pumpe

Grejanje		Hlađenje	
Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Apsorbovana snaga [kW]	Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Apsorbovana snaga [kW]
-5	35,6	25	17,4
0	35,7	30	21,9
5	22,4	35	33,2
10	18,6	-	-
15	18,9	-	-



Slika 3. Učestalost spoljne temperature za Beograd

## 6. Zaključak

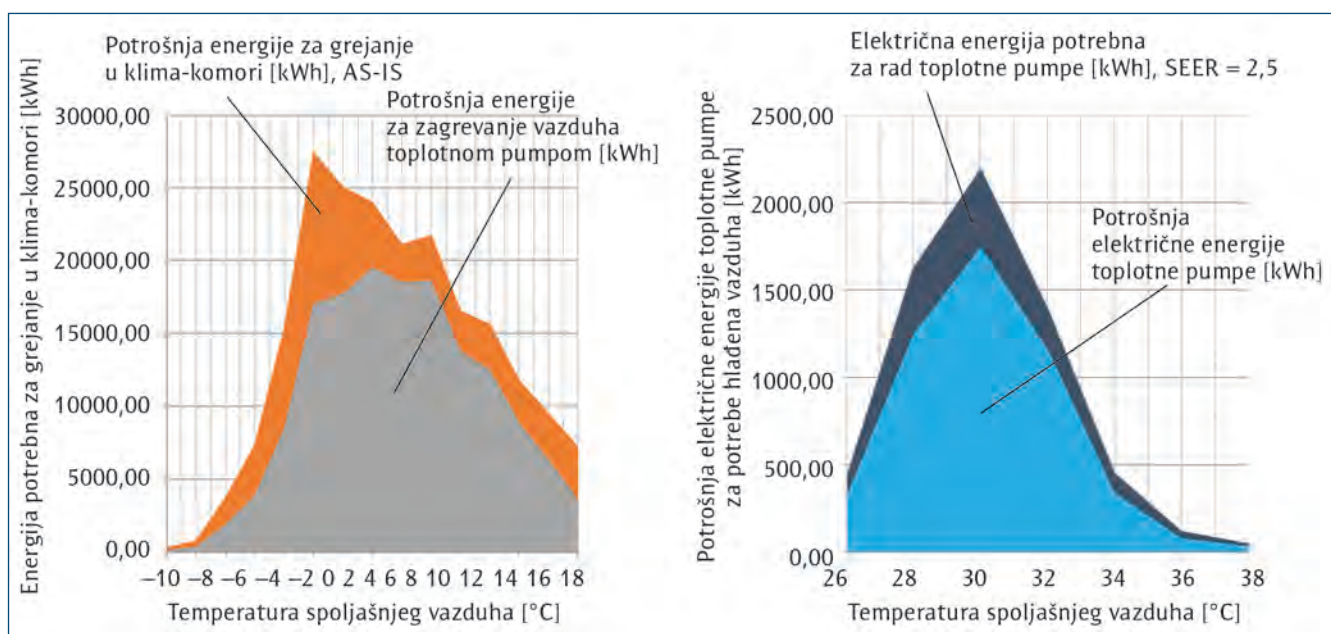
Metodologija predikcije i rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da rekuperacije toplote iz otpadnog vazduha dodavanjem toplotne pumpe može dovesti do značajnih ušteda u energiji i eksploatacionim troškovima.

Istovremeno je pokazano da postoje načini za jednostavno izračunavanje energetskih performansi sistema sa toplotnim pumpama, koji omogućavaju proveru projektnog rešenja pre rekonstrukcije sistema.

Za primenu ove metode, neophodno je da postoje klimatski podaci u odgovarajućem formatu, što nažalost nije čest slučaj sa velikom većinom naseljenih mesta u Republici Srbiji.

Tabela 5. Predikcija energetskih performansi i troškova postojećeg sistema

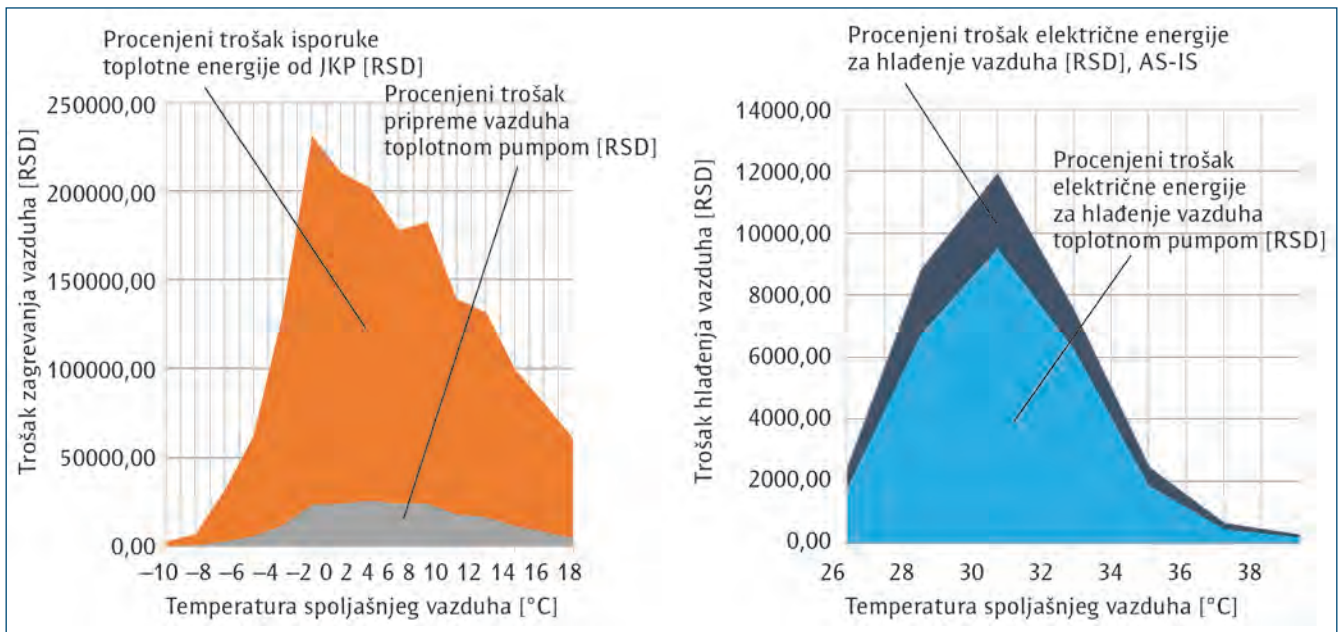
Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Temperatura pripremljenog vazduha [°C]	Kapacitet grejanja klima-komore, [kW]	Energija potrebna za zagrevanje vazduha [kWh]	Procenjeni trošak isporučene toplotne energije od strane JKP [RSD]	Kapacitet hlađenja klima-komore [KW]	Energija potrebna za hlađenje vazduha [kWh]	Električna energija za pogon toplotne pumpe, [kWh] SEER = 2,5	Procenjeni trošak električne energije za potrebe hlađenja vazduha [RSD]
-10	22	171,52	343,04	2878,11	N/A	N/A	N/A	N/A
-8	22	160,80	804,00	6745,56	N/A	N/A	N/A	N/A
-6	22	150,08	3752,00	31479,28	N/A	N/A	N/A	N/A
-4	22	139,36	7386,08	61969,21	N/A	N/A	N/A	N/A
-2	22	128,64	15436,80	129514,75	N/A	N/A	N/A	N/A
0	22	117,92	27475,36	230518,27	N/A	N/A	N/A	N/A
2	22	107,20	25084,80	210461,47	N/A	N/A	N/A	N/A
4	22	96,48	24023,52	201557,33	N/A	N/A	N/A	N/A
6	22	85,76	21182,72	177723,02	N/A	N/A	N/A	N/A
8	22	75,04	21761,60	182579,82	N/A	N/A	N/A	N/A
10	22	64,32	16594,56	139228,36	N/A	N/A	N/A	N/A
12	22	53,60	15651,20	131313,57	N/A	N/A	N/A	N/A
14	22	42,88	11834,88	99294,64	N/A	N/A	N/A	N/A
16	22	32,16	9583,68	80407,08	N/A	N/A	N/A	N/A
18	22	21,44	7225,28	60620,10	N/A	N/A	N/A	N/A
20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
26	26	N/A	N/A	N/A	5,33	1040,00	416,00	2263,04
28	26	N/A	N/A	N/A	21,33	4053,33	1621,33	8820,05
30	26	N/A	N/A	N/A	42,67	5461,33	2184,53	11883,86
32	26	N/A	N/A	N/A	53,33	3466,67	1386,67	7543,47
34	26	N/A	N/A	N/A	74,67	1120,00	448,00	2437,12
36	26	N/A	N/A	N/A	96,00	288,00	115,20	626,69
38	26	N/A	N/A	N/A	112,00	112,00	44,80	243,71
UKUPNO			208139,5	17462901	-	15541	6216	33817



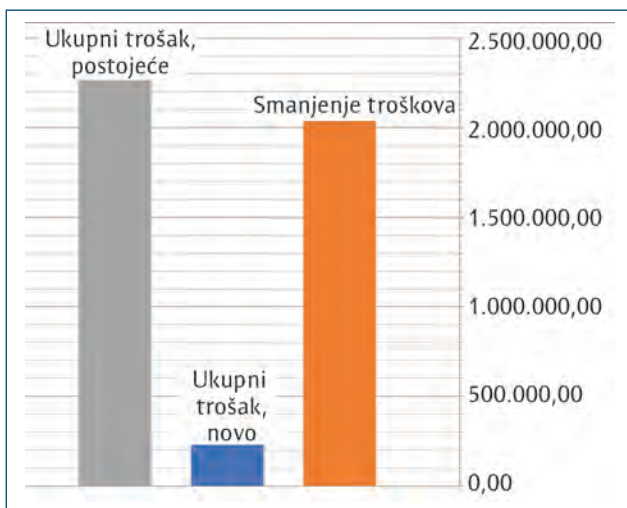
Slika 4. Potrebe za energijom i potrošnja po režimima rada (levo – grejanje, desno – hlađenje) [kWh]

Tabela 6. Predikcija energetskih performansi i troškova sistema rekuperacije sa toplotnom pumpom

Temperatura spoljašnjeg vazduha [°C]	Temperatura pripremljenog vazduha [°C]	Protok svezeg vazduha [m <sup>3</sup> /h]	Temperatura vazduha nakon mešanja [°C]	Kapacitet grejanja klima-komore [kW]	Kapacitet grejanja toplotne pumpe [kW]	Energija potrebna za zagrevanje vazduha [kWh]	Apsorbovana snaga [kW]	Potrošnja električne energije [kWh]	Trošak za zagrevanje vazduha [RSD]	Kapacitet hlađenja klima-komore [kW]	Kapacitet hlađenja toplotne pumpe [kW]	Energija potrebna za hlađenje vazduha [kWh]	Apsorbovana snaga [kW]	Potrošnja električne energije [kWh]	Trošak za hlađenje vazduha [RSD]									
-10	20,00	19000,00	4,63	160,80	84,75	169,49	23,39	46,78	254,46	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
-8	20,00	19000,00	5,71	150,08	80,26	401,29	21,86	109,29	594,51	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
-6	20,00	19000,00	6,80	139,36	77,76	1944,00	21,03	525,80	2860,35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
-4	20,00	18000,00	8,24	128,64	74,46	3946,32	19,94	1056,88	5749,44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
-2	20,00	16000,00	10,00	117,92	70,40	8448,00	18,60	2232,00	12142,08	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
0	20,00	14000,00	11,73	107,20	73,28	17073,62	18,70	4358,03	23707,69	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
2	20,00	12000,00	13,43	96,48	76,09	17805,39	18,81	4400,54	23938,92	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
4	20,00	10000,00	15,08	85,76	78,70	19596,30	18,90	4706,10	25601,18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
6	20,00	8000,00	16,67	75,04	78,70	18534,88	18,02	4451,20	24214,51	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
8	20,00	6000,00	18,18	64,32	78,70	18652,80	15,45	4479,52	24368,57	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
10	20,00	4000,00	19,60	53,60	78,70	13828,80	12,87	3321,02	18066,35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
12	20,00	2400,00	20,70	42,88	78,70	12520,96	10,30	3006,94	16357,75	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
14	20,00	800,00	21,62	32,16	78,70	8876,16	7,72	2131,63	11596,08	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
16	20,00	0,00	22,00	21,44	78,70	6389,12	5,15	1534,36	8346,93	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
18	20,00	0,00	22,00	10,72	78,70	3612,64	2,57	867,58	4719,66	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
20	26,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
22	26,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
24	26,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A									
26	26,00	10000,00	26,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,33	61,98	1040,00	1,57	307,07	1670,44									
28	26,00	12000,00	26,86	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	21,33	62,31	4053,33	6,53	1240,70	6749,42									
30	26,00	14000,00	27,87	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	42,67	62,69	5461,33	13,60	1740,61	9468,90									
32	26,00	16000,00	29,00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	53,33	63,12	3466,67	17,74	1153,36	6274,27									
34	26,00	18000,00	30,24	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	74,67	64,79	971,84	22,43	336,48	1830,43									
36	26,00	19000,00	31,43	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	96,00	71,33	213,99	25,13	75,39	410,10									
38	26,00	19000,00	32,51	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	112,00	77,28	77,28	27,58	27,58	150,05									
UKUPNO															151800	-	37228	202519	-	-	15285	-	4881	26554



Slika 5. Eksploatacioni troškovi rada sistema (levo – grejanje, desno – hlađenje) [RSD]



Slika 6. Ukupni troškovi [RSD]

Ova metoda, sa druge strane, iako jednostavna za razumevanje, ima brojna ograničenja u smislu primenljivosti kod drugih sistema KGH usled nemogućnosti detaljnog opisivanja dinamičkih promena kojima je zgrada izložena.

Da bi u potpunosti razumeli te promene, neophodno je korišćenje detaljnih simulacionih alata za čiju upotrebu postoje adekvatni klimatski podaci, ali koji zahtevaju specifična znanja, dodatno vreme rada na projektu u svim fazama i čije korišćenje investitorima predstavlja dodatni trošak.

## 7. Literatura

- [1] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. and Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 3, pp. 394-398.
- [2] \*\*\* DOE, 2010 Buildings energy data book, (2011). Office of energy efficiency and renewable energy, US Department of Energy.
- [3] Bojić, M., Nikolić, N., Nikolić, D., Skerlić, J. and Miletić I. (2011). A simulation appraisal of performance of different HVAC systems in an office building, *Energy and Buildings*, Vol. 43, pp. 1207-1215.
- [4] \*\*\* Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, Sl. glasnik Republike Srbije, 61/2011, Republika Srbija, Ministarstvo životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja.
- [5] Ignjatović, M., Stojilković, M., Vučković, G., Blagojević, B. (2022). Analysis of BIN weather data from different periods for the City of Niš, *Innovative Mechanical Engineering*, Vol. 1 (1), pp. 43-56
- [6] \*\*\* Repository of free climate data for building performance simulation, [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_6\\_Europe/SRB\\_Serbia/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/SRB_Serbia/index.html)
- [7] \*\*\* ASHRAE Handbook of Fundamentals; American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA, 2001.
- [8] Knebel, D. E. (1983) Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.: Atlanta, GA, USA.
- [9] \*\*\* Osiguranje UNIQA Design of heat recovery system with heat pumps. FilterFrigo d.o.o. Belgrade, 2019.

kgH

kgH

**54** Međunarodni kongres i izložba o KGH  
International HVAC&R Congress and Exhibition

All I need is the air that I breathe, and to...

Beogradski sajam, 6–8 decembar 2023 | Belgrade Fair, December 6–8, 2023