

# Korišćenje toplotnih pumpi u niskoenergetskim zgradama

Željko Ivanović, Mladen Knežić

Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Banjoj Luci  
Banja Luka, Bosna i Hercegovina  
{zeljko.ivanovic, mladen.knezic}@etfbl.net

**Sadržaj**—U radu je data analiza potrošnje električne energije za zagrijavanje prostora korišćenjem toplotne pumpe i električnog kotla. Analiza je izvršena na osnovu potrošnje električne energije dva stana i zgrade koja za zagrijavanje koristi zajedničku toplotnu pumpu i solarne kolektore. Posmatran je i uticaj sunčevog zračenja na potrošnju električne energije prilikom hlađenja prostora.

**Ključne riječi**—niskoenergetske zgrade; toplotne pumpe; energetka efikasnost; klimatizacija;

## I. UVOD

Povećanje energetske efikasnosti je najbrži i najjeftiniji način da se zadovolji sve veća potražnja za energijom, kao i da se ispune ekološki i ekonomski izazovi koji se javljaju sa njenom potrošnjom. Međunarodna agencija za energiju (eng. *International Energy Agency* - IEA) je 2008. godine razvila skup od 25 preporuka o politici energetske efikasnosti za sedam prioritetnih oblasti [1]: zakonodavna tijela, zgrade, uređaji i oprema, osvetljenje, prevoz, industrija i elektroenergetski sistem. IEA je procijenila da se globalnom implementacijom datih preporuka godišnje može smanjiti emisija oko 7.6 Gt ugljen-dioksida do 2030. godine. Prema podacima o potrošnji energije iz 2010. godine, ovo odgovara uštedi od 82 EJ godišnje, ili 17% od ukupne svjetske potrošnje.

Udio zgrada u ukupnoj potrošnji električne energije iznosi oko 40%. IEA je procijenila da potencijalna ušteda u zgradama može da bude do 25% u odnosu na njihovu ukupnu potrošnju. U Republici Srpskoj zgrade troše više od 50% od ukupne potrošnje energije, sa trendom povećanja u budućnosti. Zbog toga je potrebno uvesti mjere za poboljšanje energetske efikasnosti u ovom sektoru, pogotovo u oblasti zagrijavanja i hlađenja. Potrošnja energije za zagrijavanje u zgradama je trenutno velika i prosječno iznosi više od 200 kWh/m<sup>2</sup> godišnje. Primjenom mjera energetske efikasnosti u zgradama ova potrošnja bi se mogla smanjiti na 40 do 60 kWh/m<sup>2</sup> godišnje, što bi ih svrstalo u evropske norme.

Sistem za grijanje i hlađenje jedan je od najvećih potrošača električne energije u zgradama i njegova potrošnja čini 34% od ukupne potrošnje zgrade [2]. Sistem grijanja i hlađenja ima zadatak da u prostoriji održava željenu temperaturu vazduha. Za ove namjene u osnovi se najčešće koriste toplotne pumpe. Današnji klima-uređaji koji se koriste u domaćinstvima su

kompaktne toplotne pumpe sa dodatnim mogućnostima koje služe za klimatizaciju prostora.

Na temperaturu prostorije utiču kako unutrašnji, tako i spoljašnji faktori. Sunčevo zračenje je veoma važan spoljašnji faktor koji utiče na temeperaturu u prostoriji. Kada je u pitanju energetska efikasnost u zgradama, upravljanje roletnama igra važnu ulogu u pogledu regulacije temperature u prostoriji. Studije sa Biberach Univerziteta primjenjenih nauka pokazuju da uključivanje upravljanja roletnama u regulaciju temperature u prostoriji može da smanji troškove električne energije za 30% [2], [3].

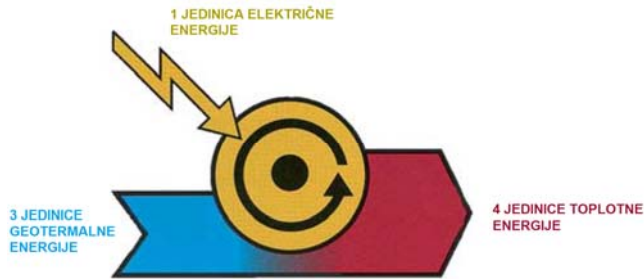
U radu je data analiza potrošnje električne energije za zagrijavanje korišćenjem električnog kotla i toplotne pumpe. U drugom poglavlju opisane su toplotne pumpe, njihova efikasnost i princip rada. Takođe, u drugom poglavlju razmatrana je efikasnost toplotnih pumpi koje koriste regulaciju rada kompresora. Mjerenja potrošnje električne energije prilikom zagrijavanja prostora i razmatranje povećanja efikasnosti dati su u trećem poglavlju. Na kraju rada, u zaključku, sumirani su rezultati mjerenja.

## II. TOPLOTNE PUMPE

Toplotna pumpa je uređaj pomoću koga se toplotna energija iz jedne sredine prenosi u drugu, pri čemu je prenijeta energija nekoliko puta veća od uložene. Sredina iz koje se odvodi toplotna energija se hladi (izvor), dok sredina kojoj predajemo toplotnu energiju se zagrijava (odredište). Efikasnost toplotnih pumpi izražava se preko koeficijentata COP (eng. *Coefficient of Performance* - COP) i EER (eng. *Energy Efficiency Ratio* - EER). Prvi koeficijent se koristi kada toplotna pumpa radi u režimu grijanja, a drugi kada radi u režimu hlađenja odredišta. Ovi koeficijenti su uvijek veći od jedinice i veoma zavise od režima rada toplotne pumpe (npr. temperature sredina između kojih se vrši razmjena toplotne energije). Što su ovi koeficijenti veći, za istu uloženu energiju (npr. električnu), dobija se veća toplotna. Kod toplotnih pumpi, u zavisnosti od režima rada, COP može da se kreće u granicama od 2 do 6, što znači da za 1 kWh uložene energije možemo dobiti 2 do 6 kWh toplotne (sl. 1). Razlika između dobijene i uložene energije predstavlja energiju prenesenu iz okoline (geotermalna energija). Kao primjer efikasnosti toplotnih pumpi navešćemo da COP za električni grijač (npr. električna grijalica) iznosi 1, što znači da za uloženi 1 kWh

Ovaj rad podržalo je Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske u okviru projekta "Poboljšanje energetske efikasnosti kod karakterističnih tipova potrošača u Republici Srpskoj"

električne energije dobijamo 1 kWh toplotne. Na osnovu ovog primjera, može se vidjeti da se korišćenjem toplotnih pumpi mogu postići značajne uštede u potrošnji električne energije prilikom zagrijavanja prostora.



Slika 1. Ilustracija efikasnosti toplotne pumpe u dobijanju toplotne energije [4].

Princip rada toplotne pumpe ilustrovan je na sl. 2. Tečnost čija je temperatura ključanja niža od temperature izvora služi kao medijum za prenos toplote. Ova tečnost se naziva radna ili rashladna tečnost. Prilikom preuzimanja toplote iz izvora preko isparivača (prvi toplotni izmjenjivač), temperatura tečnosti raste i ona isparava. Nakon toga kompresor sabija dobijeni gas pod visokim pritiskom, pri čemu temperatura i pritisak gasa rastu. Na taj način se toplotna energija koja je uzeta od izvora predaje određištju preko kondenzatora (drugi toplotni izmjenjivač). Oslobođanjem toplote, temperatura rashladne tečnosti opada tako da dolazi do njene kondenzacije i ponovnog prelaska u tečno stanje. Nakon prolaska kroz ekspanzioni ventil, tečnost prelazi u svoje početno stanje, pri čemu se opisani ciklus neprestano ponavlja [4].



Slika 2. Ilustracija rada toplotne pumpe [4].

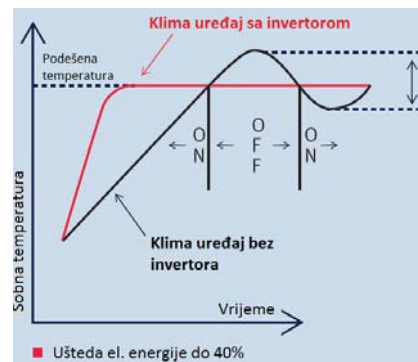
Kompresor toplotnih pumpi najčešće pogoni električni motor. Postoje dvije varijante toplotnih pumpi, sa i bez regulacije rada kompresora. U nastavku biće opisane prednosti toplotnih pumpi koje koriste regulaciju rada kompresora.

#### A. Toplotne pumpe sa kontrolom rada kompresora

Više od 50% električne energije potroše električni motori. Najveći broj ovih motora nema elektronsko upravljanje.

Električni motori bez elektronskog upravljanja, kada su uključeni, rade sa konstantnom brzinom obrtanja, što se odražava na smanjenje njihove efikasnosti. Uvođenjem elektronskog upravljanja motora može se postići ušteda električne energije do 40% [5]. Tipičan primjer ovakve uštede može se vidjeti na toplotnim pumpama.

Kod standardnih klima uređaja bez invertora (bez elektronske kontrole rada kompresora), termostat koji se nalazi u unutrašnjoj jedinici uključuje/isključuje motor u kompresoru, u zavisnosti da li je sobna temperatura manja ili veća od podešene (sl. 3). Ovakav način upravljanja tipično troši do 40% više električne energije nego klima-uređaji sa invertorom [5]. Firma Panasonic u svom katalogu klima-uređaja za 2012/2013. godinu navodi da se može postići ušteda u potrošnji električne energije do 50% korišćenjem njihovih invertorskih klima-uređaja [6].



Slika 3. Rad klima-uređaja sa i bez invertora [5].

Da bi tačnije odredili razliku u potrošnji električne energije klima-uređaja sa i bez invertora koji se nude na našem tržištu, odabrali smo dva modela firme LG. Oba modela imaju isti nazivni toplotni kapacitet (12000 BTU/h), s tim da je jedan bez a drugi sa invertorom. U tabeli I uporedo su prikazane njihove karakteristike.

TABELA I. UPOREDNE KARAKTERISTIKE KLIMA-UREĐAJA SA I BEZ INVERTORA [7].

Karakteristike	LG ATHENA INVERTER V H12MW (sa invertorom)	LG SPLIT K12AH (bez invertora)
Kapacitet: hlađenja /grijanja (W)	3500/4000	3519/3753
Ulazna snaga: hlađenje/grijanje (W)	760/800	1090/1100
EER/COP	4.6/5.0	3.23/3.41
Energetski razred: hlađenje / grijanje	A/A	A/B
Potrošnja električne energije za period od 30 dana sa radom od 8h dnevno (kWh): hlađenje/grijanje	182.4/192	261.6/264

Može se vidjeti da klima-uređaj sa invertorom ima veće koeficijente EER i COP od uređaja bez invertora, što ga

svrstava u energetska klasu A/A. Energetska klasa uređaja bez invertora je A/B, što je posljedica manjih koeficijenata EER i COP. Takođe, iz tabele I, može se vidjeti da je nazivna električna snaga pri hlađenju/grijanju veća kod uređaja bez invertora, što kao posljedicu ima i veću potrošnju električne energije.

Ako uzmemo da posmatrana dva modela klima-uređaja rade 30 dana po osam sati dnevno, onda možemo da dođemo do njihove mjesečne potrošnje električne energije. Za invertorski model dobijamo 182.4/192 kWh (hlađenje/grijanje), dok za drugi model dobijamo 261.6/264 kWh (hlađenje/grijanje). Kada se napravi razlika u potrošnji električne energije modela bez i sa invertorom, dobijamo 79.2/72 kWh (hlađenje/grijanje). Na osnovu ovog rezultata možemo zaključiti da korišćenjem klima-uređaja sa invertorom postizemo uštedu u potrošnji električne energije od oko 30% u odnosu na klima-uređaj bez invertora.

### III. POVEĆANJE EFIKASNOSTI PRILIKOM ZAGRIJAVANJA I HLAĐENJA PROSTORA KORIŠĆENJEM TOPLOTNIH PUMPI

#### A. Povećanje efikasnosti prilikom zagrijavanja prostora korišćenjem klima-uređaja

Da bi pokazali efikasnost grijanja pomoću toplotnih pumpi prikupljeni su računi za potrošenu električnu energiju tokom 2.5 godine za dva stana jednake kvadrature (51 m<sup>2</sup>), koji se nalaze u istoj zgradi u Banjaluci (tabela III). U jednom stanu se za zagrijavanje prostora koristi električni kotao elBLOCK proizvođača *Vaillant* snage 9 kW, dok se u drugom stanu koristi invertorski klima-uređaj AQV12ABA, proizvođača *Samsung*. Specifikacije korišćenog klima uređaja date su u tabeli II.

Da bi procijenili koliko se električne energije utroši na zagrijavanje prostora, neophodna je procjena električne energije koja utroši na ostale potrebe u domaćinstvu. Ako pretpostavimo da je vanjska temperatura tokom mjeseca maja i septembra na području Banjaluke takva da korisnici posmatranih stanova ne moraju da koriste uređaje za grijanje i hlađenje, onda potrošnja u ovim mjesecima predstavlja energiju koja se utroši na ostale potrebe u domaćinstvu. U tabeli IV prikazana je potrošnja električne energije za oba stana za mjesec maj i septembar u posmatranom periodu. Prosječna vrijednost uzeta je kao mjesečna električna energija koju korisnici stana I i II utroše na ostale potrebe u domaćinstvu.

TABELA II. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KLIMA-UREĐAJA AQV12ABA.

Karakteristike	Klima-uređaj Samsung AQV12ABA
Kontrola kompresora	Invertor
Toplotni kapacitet: hlađenja/grijanja (BTU/h)	11942.49/13648.56
Nazivna snaga: hlađenja/grijanja (kW)	3.5/4.0
Energetska klasa: hlađenja/grijanja	A/A
EER/COP	3.6/3.64

TABELA III. POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE.

Vremenski period		Stan I (električni kotao)	Stan II (klima-uređaj sa invertorom)
God.	Mjesec	Ukupna utrošena energija (kWh)	Ukupna utrošena energija (kWh)
2012	avgust	169	280
	jul	116	254
	jun	187	167
	maj	214	183
	april	284	212
	mart	557	277
	februar	294*	499
2011	januar	695	353
	decembar	535	319
	novembar	492	363
	oktobar	514	196
	septembar	209	191
	avgust	106	190
	jul	185	214
	jun	167	184
	maj	161	175
	april	278	272
	mart	613	328
2010	februar	733	355
	januar	1010	472
	decembar	797	445
	novembar	440	274
	oktobar	423	272
	septembar	153	187
	avgust	140	151
	jul	199	201
	jun	163	168
	maj	239	149
	april	526	312
	mart	920	346
februar	1508	336	
januar	1650	57**	

\* korisnik Stana I većinu mjeseca februara 2012. godine bio je odsutan.

\*\* korisnik Stana II većinu mjeseca januara 2010. godine bio je odsutan.

Uzimajući da grijna sezona traje od oktobra tekuće do aprila naredne godine, možemo doći do procjene potrošnje električne energije za zagrijavanje prostora. Ovu potrošnju dobijamo sabiranjem potrošnje energije za mjesec u grijnoj sezoni i oduzimanja potrošnje za ostale potrebe u domaćinstvu za ovaj period.

TABELA IV. PROCJENA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA OSTALE POTREBE U DOMAĆINSTVU.

Vremenski period	Stan I (električni kotao)	Stan II (klima uređaj sa inverterom)
Potrošnja el. energije za mjesec maj 2012. god. (kWh)	214	183
Potrošnja el. energije za mjesec septembar 2011. god. (kWh)	209	191
Potrošnja el. energije za mjesec maj 2011. god. (kWh)	161	175
Potrošnja el. energije za mjesec septembar 2010. god. (kWh)	153	187
Potrošnja el. energije za mjesec maj 2010. god. (kWh)	239	149
<b>Prosječna potrošnja (kWh):</b>	195.2	177

Ova procjena potrošnje električne energije prikazana je u tabeli V.

TABELA V. PROCJENA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA ZAGRIJAVANJE PROSTORA.

Vremenski period	Stan I (električni kotao)	Stan II (klima uređaj sa inverterom)
Ukupna potrošnje el. energije za grijnu sezonu 2011/12 (kWh)	2199.8	980
Ukupna potrošnje el. energije za grijnu sezonu 2010/11 (kWh)	2927.6	1179
Ukupna potrošnje el. energije za pola grijne sezone 2009/10 (kWh)	3823.2	520
<b>Prosječna potrošnja po grijnoj sezoni (kWh):</b>	3580.2	1071.6

Kao što se može vidjeti iz tabele V, korisnik stana 2 troši oko 70% manje električne energije na zagrijavanje stambenog prostora nego korisnik stana I. Odnos potrošnje električne energije korisnika stana I i II približno odgovara koeficijentu efikasnosti COP korišćenog klima-uređaja, što je u skladu sa očekivanjem. Ako uzmemo da trenutno prosječna cijena kWh električne energije sa PDV-om zimi iznosi oko 0.13 KM, onda za zagrijavanje stambenog prostora korisnik stana I izdvoji 465.4 KM, odnosno 139.3 KM korisnik stana II. U slučaju da korisnici posmatranih stanova za zagrijavanje prostora koriste usluge Gradske toplane po sadašnjem cjenovniku usluga grijanja od 1.65 KM/m<sup>2</sup> sa PDV-om, godišnji trošak grijanja bi iznosio oko 1010 KM. Razlika u cijeni u ovom slučaju je značajna.

#### B. Povećanje efikasnosti prilikom zagrijavanja prostora korišćenjem zajedničke toplotne pumpe

Pored prethodne analize, posmatrana je i potrošnja električne energije Zajednice etažnih vlasnika (ZEV) zgrade koja za hlađenje i zagrijavanje stambenog prostora i tople vode koristi zajedničku toplotnu pumpu i solarni kolektor. U tabeli VI prikazana je prosječna potrošnja električne energije u zimskom i ljetnjem periodu ZEV-a. Iz tabele može se vidjeti da prosječna cijena zagrijavanja prostora i vode zimi iznosi oko 1.24 KM/m<sup>2</sup>, što je i više nego duplo manje od cijene usluge

grijanja Gradske toplane (3.30 KM/m<sup>2</sup> kada se plaća samo u grijnoj sezoni), pogotovo ako se uzme u obzir da se osim zagrijavanja stambenog prostora, toplotna pumpa koristi i za zagrijavanje vode.

TABELA VI. PROCJENA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZEV-A NA ZAGRIJAVANJE STAMBENOG PROSTORA I TOPLE VODE.

Parametri	Zima	Ljeto
Prosječna cijena potrošene el. energije (KM)	1400	500
Ukupna stambena površina zgrade (m <sup>2</sup> )	1132	
Cijena grijanja po m <sup>2</sup> stambene površine (KM/m <sup>2</sup> )	1.24	0.44

Ljeti se na hlađenje stambenog prostora i na zagrijavanje tople vode utroši oko 0.44 KM/m<sup>2</sup>. Na značajno smanjenje troškova električne energije ljeti utiče korišćenje solarnih kolektora za zagrijavanje vode. Treba napomenuti da u cijenu po m<sup>2</sup> osim hlađenja stambenog prostora i zagrijavanja vode ulaze i troškovi potrošnje ostalih zajedničkih potrošača (rasvjete, garažnih vrata). Uzimajući u obzir i ovu činjenicu, možemo zaključiti da su stvarni troškovi zagrijavanja i hlađenja manji u odnosu na vrijednosti date u tabeli VI.

#### C. Povećanje efikasnosti prilikom hlađenja prostora

Spuštanjem roletni na sunčanoj strani zgrade ljeti sprečava da dođe do pregrijavanja prostorije, a samim tim štedi se na energiji koja je potrebna za hlađenje. Zimi, obrnuto, što se više iskoristi sunčeve energije, smanjuje se utrošak energije za grijanje. U oba slučaja neophodno je da se uspostavi i upravljanje roletnama.

Da bi se procijenio uticaj spoljašnjeg sunčevog zračenja na potrošnju električne energije prilikom hlađenja prostorije, urađena su mjerenja u stanu II sa spuštenim i podignutim roletnama tokom ljeta. Klima-uređaj u stanu II nalazi se u prostoriji površine oko 30 m<sup>2</sup> koja ima dva prozorska otvora površine oko 7 m<sup>2</sup> koji su orijentisani prema sjeveru. Rezultati mjerenja prikazani su u tabeli VII.

TABELA VII. PROCJENA UTICAJA SUNČEVOG ZRAČENJA NA HLAĐENJE PROSTORA.

Parametri	Podignute roletne	Spuštene roletne
Vrijeme mjerenje	14:00h	14:30h
Vanjska temperatura	34.7 °C	34.7 °C
Podešavana temperatura na klima uređaju	24 °C	24 °C
Unutrašnja izmjerena temperatura	25.25 °C	25 °C
Snaga klima uređaja	439 W	262 W

Kao što možemo da vidimo iz tabele VI, snaga klima-uređaja pri podignutim roletnama je skoro duplo veća nego kada su one potpuno spuštene. Konkretno, u ovom slučaju ta razlika iznosi 177 W, što ako se preračuna u potrošenu električnu energiju na mjesečnom nivou, uz

pretpostavku da klima-uređaj radi 8h dnevno, dobijamo 42.48 kWh potencijalne uštede. Mnogo veće uštede mogu se očekivati u prostorijama koje su orijentisane prema jugu. Negativna strana zatamnivanja stakala je gubljenje osvijetljenosti prostora, koja se može nadoknaditi optimalnim i spregnutim upravljanjem sistema za klimatizaciju i sistema za osvijetljenje.

#### IV. ZAKLJUČAK

Najveći doprinos u povećanju energetske efikasnosti može se postići kod stambenih i poslovnih zgrada i objekata. Sistem za grijanje i hlađenje posmatran je sa aspekta mogućnosti povećanja energetske efikasnosti bez narušavanja kvaliteta usluge. Povećanje energetske efikasnosti ovog sistema je od izuzetne važnosti s obzirom da on je on najveći potrošač u zgradama. Osnovni princip uštede električne energije zasniva se na optimizaciji upravljanja tako da se energija koristi samo onda kada je potrebno i koliko je potrebno.

Kao što smo vidjeli, velike uštede električne energije mogu se postići korišćenjem toplotnih pumpi sa regulacijom rada kompresora u odnosu na one bez regulacije. Takođe, pokazano je i da se korišćenjem toplotnih pumpi za zagrijavanje stambenog i radnog prostora pored uštede u potrošenoj energiji može postići i velika ekonomska ušteda u ovoj oblasti.

#### LITERATURA

- [1] "25 Energy Efficiency Policy Recommendations - 2011 Update," International Energy Agency, [www.iea.org/publications/freepublications/publication/25recom\\_2011.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/25recom_2011.pdf), November 2012.
- [2] Heating, Ventilation, Air Conditioning, Room Climate Control with ABB and KNX, [www.abb.com](http://www.abb.com).
- [3] ABB i-bus KNX Application Manual, Heating/Ventilation/Air Conditioning, [www.abb.com](http://www.abb.com).
- [4] Renewable Heat Pumps - A guide for the technically minded, [http://www.seai.ie/Publications/Renewables\\_Publications/Technical\\_heat\\_Pump.pdf](http://www.seai.ie/Publications/Renewables_Publications/Technical_heat_Pump.pdf)
- [5] Whitepaper „Saving Energy“ – Infineon, [www.infineon.com](http://www.infineon.com).
- [6] Panasonic Air Conditioners 2012/2013, [www.panasonic.com.au](http://www.panasonic.com.au).
- [7] [www.lg.com/rs](http://www.lg.com/rs).

#### ABSTRACT

Analysis of energy consumption for space heating using heat pumps and electric boilers is given in this paper. Analysis was based on measurements of power consumption of two apartmans and one building that use a heat pump and solar collectors for heating purpose. Influence of solar radiation on energy consumption during the space cooling was also considered.

**Heat Pumps Usage in Low Energy Buildings**  
Zeljko Ivanovic, Mladen Knezic