

IDEJNO REŠENJE ZA POBOLJŠANJE ENERGETSKIH I EKOLOŠKIH KARAKTERISTIKA KLIMA UREĐAJA

Ana Đorđević, Željko Đurišić, *Elektrotehnički fakultet, Beograd*

Sadržaj: U radu je analizirana mogućnost poboljšanja energetske efikasnosti i rešavanja problema odvođenja kondenzata kod klima uređaja tipa "split sistem". Problem sa curenjem vode koju klima uređaj ispušta pri radu, a koja nastaje kondenzovanjem vlage iz unutrašnjeg vazduha na isparivaču, je sve izraženiji. Osnovna ideja predstavljenog rešenja je da se obezbedi uključivanje kondenzata u termodinamički ciklus klima uređaja. Predloženo idejno rešenje treba da omogući vraćanje kondenzata u parnu fazu čime bi se rešio problem kapanja kondenzata, a latentna toplota isparavanja bi povećala efikasnost radnog ciklusa usled boljeg hlađenja radnog fluida. Na osnovu sprovedenih merenja na klima uređaj tipa "split sistem" analizirana je zavisnost količine izdvojenog kondenzata od vremenskih uslova i datje uporedni pregled o količini izdvojenog kondenzata za dve različite lokacije u pogledu klimatskih uslova. Analiziran je termodinamički ciklus realnih klima uređaja i sagledane teorijske osnove i proračuni opravdanosti praktične realizacije idejnog rešenja.

1. UVOD

Unapređenje karakteristika klima uređaja je veoma aktuelna problematika poslednjih nekoliko godina usled nekontrolisanog priključenja sve većeg broja klima uređaja različitih proizvođača i snaga. U cilju zadovoljavanja potreba kupaca napravljena su brojna tehnička unapređenja, poboljšana je kvaliteta uređaja, a zbog masovne proizvodnje smanjena je i cena uređaja. Jak trend porasta broja instaliranih klima uređaja je izražen u urbanim sredinama u Srbiji. Tipično se koriste klima uređaji jedinične nazivne toplotne snage 12000 BTU/h (BTU – *British Thermal Unit*, 1000 BTU/h \approx 0,293 kW), koju električnom pogledu opterećuju distributivni sistem sa oko (1÷1,3) kW.

Klima uređaji se uglavnom koriste za rashlađivanje prostorija, a ređe za grejanje prostorija u tzv. prelaznom grejnom periodu (jesen i proleće). U elektrodistributivnom sistemu Beograda, u poslednjih nekoliko godina, osetan je permanentan porast potrošnje električne energije u letnjim mesecima kojijeuglavnom posledica sve većeg broja priključenih klima uređaja.

Kako ne postoji ekološki potpuno čist izvor energije, klima uređaj, kao i svaki drugi izvor toplotne energije, ima određeni negativan uticaj na okolinu. Na tržištuklima uređaja postoji veliki broj uređaja koji su bučni, a time i veoma iritantni. Pored buke i vibracija, često problem predstavlja i voda koju klima uređaj ispušta pri radu, odnosno kondenzat koji se izdvaja na hladnim delovima uređaja. Leti, kada klima uređaji rade u modu hlađenja, unutrašnja jedinica ima funkciju isparivača, koji je hladan, pa se na njemukondenzuje vlaga iz vazduha, dok se zimi, u režimu grejanja, kondenzat izdvaja iz spoljne jedinice. Odvodi za vodu iz rashladnih uređaja najčešće nisu pravilno postavljeni, pa voda curi iz klima postavljenih na stambenim objektima na javne površine.

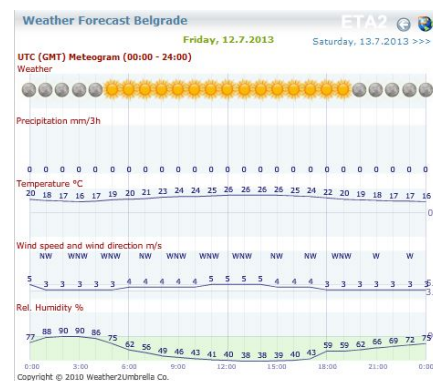
Zbog sve veće upotrebe klima uređaja u distributivnim mrežama od velikog je značaja smanjenje njihovog negativnog uticaja na okolinu tj. veoma je bitno obezbediti da se kondenzat ne izdvaja tamo gde može stvoriti problem. Iako je zakonom regulisano da se klima uređaj postavlja tako da se onemogući izlivanje kondenzata na okolnu površinu, problem sa curenjem klima uređaja praktično nije rešen.

U radu je razmotrena mogućnost da se ovaj ekološki problem reši i predloženo odgovarajuće tehničko rešenje, kao i proračun kojim se potvrđuje teorijska opravdanost takvog rešenja. Predloženim rešenjem, ne samo da se rešava ekološki problem, već se i povećava efikasnost procesa hlađenja.

2. MERENJE KOLIČINE KONDENZATA NA MODELU KLIMA UREĐAJA TIPA "SPLIT SISTEM"

Kondenzat koji se izdvaja iz klima uređaja nastaje kondenzovanjem vlage iz unutrašnjeg vazduha na isparivaču. Kondenzat se sliva sa isparivača u kadu unutrašnje jedinice i slobodnim padom izbacuje napolje kroz odvodnu cev. Količina kondenzata koji se izdvoji iz klima uređaja varira u određenim granicama i može biti i do 2 litra po satu.

Merenja su vršena na klima uređaju tipa "split sistem" u vremenskom periodu od 3 dana i predstavljeni su podacima vrednostima uticajnih parametara (temperatura, pritisak, vlažnost vazduha) u okolini spoljne jedinice, kao i unutar hladene prostorije. Na slikama 1, 2 i 3 su predstavljeni podaci o vremenskim uslovima van prostorije koja se hladi, dok su utabeli 1 predstavljeni mereni podaci o količini kondenzata koji se izdvoji kod klima uređaja na kojem su vršena merenja, kao i vrednosti parametara unutar hladene prostorije. Merena je količina izdvojenog kondenzata na dve različite lokacije u pogledu klimatskih uslova i rezultati su predstavljeni u tabeli 2. Rezultati merenja pokazuju da količina izdvojenog kondenzata varira u zavisnosti od ambijentalnih uslova u okolini unutrašnje i spoljašnje jedinice. Iz tabele 2 se vidi da se u ekstremnotoplrim uslovima sa velikom vlažnošću, kakvi se obično imaju leti u primorskim krajevima, može izdvojiti i do 2l kondenzata po satu.



Sl. 1. Vremenska prognoza za Beograd, 12.07.2013. godine



Sl. 2. Vremenska prognoza za Beograd, 13.07.2013. godine

Sl. 3. Vremenska prognoza za Beograd, 14.07.2013. godine

Tabela 1. Podaci o količini izdvojenog kondenzata iz klima uređaja

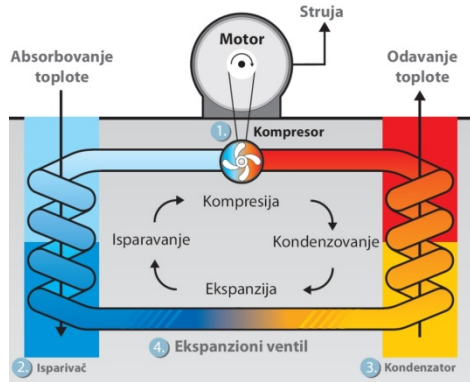
Početak merenja	Kraj merenja	Količina kondenzata (l)	Vlažnost vazduha na početku merenja (%)	Vlažnost vazduha na kraju merenja (%)	T_1 temperatura na početku merenja	T_2 temperatura na kraju merenja	Pritisak na početku merenja (mbar)	Pritisak na kraju merenja (mbar)	lokacija
12.07.2013, 18:00 h	13.07.2013, 11:15 h	4.2	54	52	18°C	17°C	1008	1006	Beograd
13.07.2013, 11:15 h	13.07.2013, 15:07 h	3.05	52	50	17°C	20 °C	1006	1006	Beograd
13.07.2013, 15:07 h	13.07.2013, 20:07 h	1.75	50	49	20 °C	19°C	1006	1005	Beograd
13.07.2013, 20:07 h	14.07.2013, 13:04 h	5.25	49	50	19°C	19°C	1005	1006	Beograd
14.07.2013, 13:04 h	14.07.2013, 18:23 h	0.95	50	56	19°C	18°C	1006	1005	Beograd

Tabela 2. Podaci o količini izdvojenog kondenzata iz klima uređaja za dve različite lokacije

Početak merenja	Kraj merenja	Količina kondenzata (l)	Vlažnost vazduha (%)	Temperatura (°C)	pritisak (mbar)	lokacija
18.07.2013, 13:44 h	18.07.2013, 14:02 h	0.5	37	35	1006	Beograd
28.07.2013, 13:10 h	28.07.2013, 13:39 h	1	40	38	1007	Bar

3. TEORIJSKE OSNOVE RADA KLIMA UREĐAJA

Na slici 4 je prikazana šema procesa hlađenja u levokretnom kružnom procesu kompresorskog parnog rashladnog postrojenja [2].



Sl. 4. Principijska šema kompresorskog rashladnog uređaja

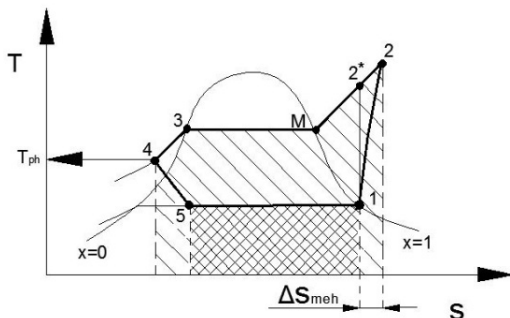
Opisivanje efikasnosti procesa hlađenja se vrši pomoću koeficijenta hlađenja. Pod koeficijentom hlađenja kompresorskog rashladnog postrojenja podrazumeva se odnos kapaciteta hlađenja i uloženog rada za obavljanje levokretnog kružnog procesa.

Na T-s dijagramu na slici 5 su pokazana karakteristična stanja rashladnog sredstva u kružnom ciklusu sa kompresorskim sabijanjem koji uključuje u opštem slučaju i pothlađivanje kondenzata [3]. Pothlađivanjem kondenzata obezbeđuje se povećanje kapaciteta hlađenja pri čemu rad levokretnog ciklusa ostaje na istoj vrednosti (gasovita faza rashladnog sredstva se sabija između istih pritisaka).

Karakteristične promene stanja rashladnog sredstva su:

- 1-2 sabijanje pare u kompresoru,
- 2-3 hlađenje (2-M) i kondenzovanje pare (M-3) u kondenzatoru,
- 3-4 pothlađivanje kondenzata u pothlađivaču,
- 4-5 širenje kondenzata u prigušnom ventilu,
- 5-1 dovođenje toplote i isparavanje pare u isparivaču.

Šrafirana površina ispod krive 4-3-2*-2 predstavlja količinu toplote odvedenu sa kondenzatora, dok je šrafirana površina ispod krive 5-1 količina toplote koju je apsorbovao isparivač.



Sl. 5. T-s dijagram sa karakterističnim promenama stanja rashladnog sredstva

Kao rashladni fluid u klima uređajima se koriste različiti gasovi koji imaju jedinstven naziv freon. U ovoj analizi je pretpostavljeno da se u klima uređaju nalazi gas R₂₂. Ovaj fluid ostvaruje kružni proces između pritisaka $p_1 = 4.222 \text{ bar}$ i $p_2 = 16.074 \text{ bar}$. Kompresor snage $P = 1.3 \text{ kW}$ usisava suhu paru freona pritiska p_1 i sabija je do pritiska p_2 . Usled savlađivanja otpora trenja i ostalih pasivnih otpora specifična entropija freona poraste za

$$\Delta s_{\text{meh,neravn.}} = 3.2 \frac{J}{\text{kgK}}$$

freona R₂₂ može se odrediti stanje radne materije u svakoj karakterističnoj tački, kao i odgovarajuće količine toplote označena T-s dijagramu [4].

Za koeficijent hlađenja proračunom se dobija sledeća vrednost:

$$\epsilon_h = \frac{q_{\text{dov}}}{W_k} = \frac{h_1 - h_5}{h_2 - h_1} = 4.58, \quad (1)$$

gde su:

q_{dov} - količina toplote dovedena u isparivaču (kJ/kg),

W_k - potreban rad levokretnog kružnog procesa (kJ/kg),

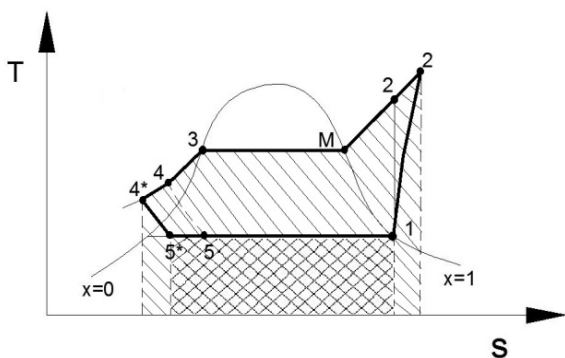
h_1 - entalpija radnog tela na ulazu u kompresor (kJ/kg),

h_2 - entalpija radnog tela na izlazu iz kompresora (kJ/kg),

h_5 - entalpija radnog tela na ulazu u isparivač (kJ/kg).

4. IDEJNO REŠENJE

Cilj predloženog tehničkog rešenja je da se spreči izdvajanje vode, odnosno kondenzata koju klima uređaj ispušta pri radu. Voda koja nastaje kondenzovanjem vlage iz unutrašnjeg vazduha na isparivaču se izbacuje napolje pomoću creva za odvod kondenzata. Osnovna ideja je da se kondenzat, koji je izdvojen na unutrašnjoj jedinici, dovede na kondenzator gde bi ispario korišćenjem toplote koja se na njemu oslobodi. Spoljašnje jedinice su po pravilu montirane na nižem visinskom nivou od unutrašnjih jedinica, pa se dovođenje kondenzata na kondenzator može izvršiti slobodnim padom. Za tehničku realizaciju ove ideje potrebno je napraviti raspršivač koji bi što ravnomernije raspoređivao kondenzat po površini kondenzatora, kako bi proces njegovog isparavanja bio efikasan. Na ovaj način kondenzat bi se u vidu pare oslobodio u spoljašnju atmosferu i time bi se rešio osnovni problem njegovog curenja na javne površine i zidove objekata. Osim toga, latentna toplota isparavanja kondenzata bi snizila vrednosti temperature i pritiska fluida na izlazu iz kondenzatora, što je predstavljeno u T-s dijagramu na slici 6. Ovo ima pozitivan efekat u pogledu energetske efikasnosti rada klima uređaja. Teorijske osnove izvodljivosti predloženog rešenja, kao i njegov efekat na energetska efikasnost su analizirani za pretpostavljeni klima uređaj i izmerene količine kondenzata date u tabeli 2. Analize su izvršene na osnovu T-s dijagrama prikazanog na slici 6.



Sl. 6. *T-s* dijagram sa karakterističnim promenama stanja rashladnog sredstva u slučaju kada se kondenzat ne izvaja van

Zbog dodatnog pothlađivanja tečnosti usled isparavanja kondenzata na kondenzatoru iz stanja 4 se dolazi u stanje 4*. Temperaturna razlika $(T_5 - T_4)$ je smanjena na $(T_{5*} - T_{4*})$, čime se postiže rashladni učinak veći za Δq i povećava koeficijent hlađenja. Dodatno temperaturno pothlađivanje u kondenzatoru se može kretati od 1-3°C, pa se može izvršiti proračun stanja radne materije u termodinamičkom ciklusu za slučaj kada se kondenzat iz klima uređaja vraća u spoljašnju jedinicu. Stanja 1,2 i 3 su identična kao u slučaju bez dovođenja kondenzata, slika 5. Razlika u proračunu se javlja zbog dodatnog temperaturnog pothlađivanja u kondenzatoru, pa je proračun za slučaj kada se kondenzat vraća u spoljašnju jedinicu izvršen pod pretpostavkom da se kondenzat pothladio za 1°C.

Za koeficijent hlađenja proračunom se dobija sledeća vrednost:

$$\varepsilon_h = \frac{q_{dov}}{W_k} = \frac{h_1 - h_5^*}{h_2 - h_1} = 4.61, (2)$$

gde je:

h_5^* - novaentalpija radnog tela na ulazu u isparivač (kJ/kg).

Koeficijent hlađenja se povećao u odnosu na slučaj kada se kondenzat iz klima uređaja izvaja van ($\varepsilon_{h1} = 4.58 < \varepsilon_{h2} = 4.61$).

Na kondenzat deluje toplota odvedena sa kondenzatora. Pod dejstvom te toplote doći će do isparavanja kondenzata. Da bi se moglo proceniti koja masa kondenzata, pod određenim meteorološkim uslovima, može ispariti sa kondenzatora klima uređaja koji radi u modu hlađenja, potrebno je odrediti latentnu toplotu isparavanja kondenzata. Latentna toplota isparavanja određena je korišćenjem aproksimativne formule:

$$L(T) = -0.0000614342 \cdot T^3 + 0.00158927 \cdot T^2 - 2.36418 \cdot T + 2500,$$

gde je:

T - temperatura kondenzata ($^{\circ}\text{C}$).

Kako bi se razmotrio najnepovoljniji slučaj sa aspekta količine toplote potrebne za isparavanje kondenzata, pretpostavljeno je da je temperatura kondenzata 17°C i da se za sat vremena izdvoji 2l kondenzata, što predstavlja maksimalnu realnu vrednost protoka kondenzata.

$$Q_{lat} = L(T) \cdot m_k = 2460.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{2\text{kg}}{3600\text{s}} = 1.367\text{kW} (3)$$

Gde je:

Q_{lat} - toplotna snaga isparavanja (kW)

$L(T)$ - latentna toplota isparavanja (kJ/kg)

m_k - maseni protok kondenzata (kg/s)

Može se uočiti da je toplotna snaga odvedena u kondenzatoru Q_{odv} , čija je vrednost dobijena proračunom termodinamičkog ciklusa, znatno veća od latentne toplote snage isparavanja kondenzata i taj odnos je:

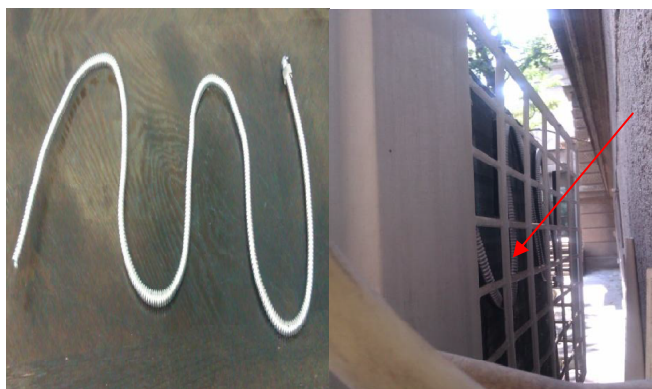
$$\frac{Q_{odv}}{Q_{lat}} = \frac{8.01\text{kW}}{1.367\text{kW}} = 5.86 (4)$$

To znači da kada bi raspršivač bio konstruisan tako da kondenzat, pod dejstvom toplote odvedene sa kondenzatora, može da isparava u svakoj tački na površini raspršivača, sav kondenzat koji se izdvoji iz uređaja bi u potpunosti ispario.

5. TEHNIČKA REALIZACIJA

Iz prethodnih proračuna se može zaključiti da postoji teorijska opravdanost predloženog idejnog rešenja. Iz proračuna stanja radne materije se vidi da se koeficijent hlađenja povećao u odnosu na slučaj kada se kondenzat iz klima uređaja izvaja van. Sa druge strane, pokazano je da je količina toplote odvedene u kondenzatoru višestruko veća od latentne toplote isparavanja kondenzata tj. da bi uz odgovarajuću konstrukciju raspršivača sav kondenzat koji se izdvoji iz uređaja ispario.

Tehnička realizacija isparivača, odnosno praktično sprovođenje idejnog rešenja, može biti vrlo jednostavna i jeftina. Spoljne jedinice klima uređaja imaju realizovan kondenzator u vidu sistema cevi koje prolaze kroz mrežasti hladnjak koji ima ulogu da poveća površinu sa koje se odvodi toplota. Hladnjak se nalazi na zadnjoj strani spoljne jedinice, odnosno prema zidu. Sa prednje strane se nalazi ventilator koji ima ulogu da vrši forsirano strujanje vazduha kroz hladnjak kondenzatora. Jednostavan način za realizaciju raspršivača je da se na hladnjak sa spoljne strane pričvrsti cev čiji bi jedan kraj bio zatvoren, a na drugom kraju bi se nalazio priključak za dovođenje kondenzata iz unutrašnje jedinice. Na cevi, u nivou kontura bakarnih cevi kondenzatora bi bili izbušeni mali otvori, odnosno kapljači, iz kojih bi kondenzat curio na hladnjak kondenzatora. Pogodno bi bilo da otvori budu u najtoplijim tačkama, odnosno u nivou prolaska cevi kondenzatora kroz hladnjak, čime bi bili stvoreni uslovi za efikasno isparavanje kondenzata. Na slici 7 prikazano je improvizovano rešenje kapljača i njegov položaj na test klima uređaju.



Sl.7. *Improvizovano rešenje kapljača i njegov položaj na test klima uređaju*

Dodatno strujanje vazduha u okolini kondenzatora, koje je forsirano ventilatorom, pozitivno deluje na proces isparavanja dovedenog kondenzata. U slučaju da kondenzat ne bi ispario u potpunosti, pretpostavka je da bi vodene kapljice kondenzata koje se oslobode kroz otvore raspršivača pod dejstvom ventilatora, koji stvara prinudno strujanje vazduha unutar spoljašnje jedinice, bile izbačene van.

Treba imati u vidu da je kondenzat u hemijskom pogledu oslobođen minerala, tako da se neće uzrokovati problem stvaranja taloga i kamenca. Tehničko rešenje je vrlo jednostavno, jeftino i univerzalno u pogledu modela klima uređaja tipa split sistem. Njihova ugradnja ne iziskuje prepravke na klima uređajima.

6. ZAKLJUČAK

Osnovna ideja sprovedene analize jeste da se spreči izdvajanje vode, odnosno kondenzata koju klima uređaj ispušta pri radu. Voda koja nastaje kondenzovanjem vlage iz unutrašnjeg vazduha na isparivaču se sliva u kadicu kondenzata, a zatim izbacuje napolje pomoću creva za odvod kondenzata. Količina kondenzata koji se izdvoji iz klima uređaja varira u određenim granicama u zavisnosti od brojnih faktora (snaga uređaja, temperatura, pritisak, vlažnost vazduha). Predstavljani su merni podaci o količini kondenzata koji se izdvoji kod klima uređaja na kojem su vršena merenja u radu. Kako bi se napravila komparativna analiza, merena je i količina izdvojenog kondenzata na dve različite lokacije.

Da bi se sprečilo izlivanje kondenzata, na crevo koje služi za odvod kondenzata se vezuje raspršivač kojim se kondenzat vraća u spoljašnju jedinicu klima uređaja. Pored postizanja osnovnog cilja predstavljenog tehničkog rešenja, odnosno rešavanja ekološkog problema, pokazano je da bi se na ovaj način istovremeno postigao i veći rashladni učinak, odnosno povećao koeficijent hlađenja rashladnog ciklusa. Vraćanjem kondenzata vrši se dodatno pothlađivanje rashladnog medija, odnosno dodatno se snižavaju temperatura i pritisak fluida na izlazu iz kondenzatora. Pošto je suština procesa hlađenja postizanje što većeg kapaciteta hlađenja uz najmanji utrošak rada, ovo tehničko rešenje istovremeno poboljšava i energetske karakteristike klima uređaja. U radu je izvršen proračun stanja radne

materije u termodinamičkom ciklusu za slučaj kada se kondenzat iz klima uređaja izdvaja van, kao i u slučaju kada se vraća u spoljašnju jedinicu klima uređaja. Iz proračuna stanja radne materije se vidi da se koeficijent hlađenja povećao u odnosu na slučaj kada se kondenzat iz klima uređaja izdvaja van. Takođe, pokazano je da se uz odgovarajuću konstrukciju isparivača može postići da sav kondenzat, koji se izdvoji iz uređaja, ispari pod dejstvom toplote odvedene sa kondenzatora. Dakle, može se zaključiti da postoji teorijska opravdanost predložene idejne rešenja.

7. LITERATURA

- [1] Ž. Đurišić, M. Đurić, Zorana Kešeljević, Uticaj klima uređaja na kvalitet električne energije, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2011.
- [2] Saša Milanović, Rashladni uređaji – principi i praksa, Beograd, 1997.
- [3] B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, M. Kijevčanin, Termodinamika, TMF, Beograd, 2012.
- [4] Ž. Đurišić, M. Đurić, Zorana Kešeljević, Uticaj klima uređaja na kvalitet električne energije, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2011.
- [5] Saša Milanović, Rashladni uređaji – principi i praksa, Beograd, 1997.
- [6] B. Đorđević, V. Valent, S. Šerbanović, M. Kijevčanin, Termodinamika, TMF, Beograd, 2012.
- [7] Đorđe Kozić, Bogosav Vasiljević, Vladimir Bekavac, Priručnik za termodinamiku u jedinicama SI, Mašinski Fakultet, Beograd, 2008.

Abstract: *In this work has been analyzed possibility of improving energy efficiency and solving the problem of condensate in the air conditioner type "split system". The problem with a leak of water that discharges air conditioner, which causes condensation of moisture from the indoor air on the evaporator, is growing. The basic idea of the presented solution is to ensure the inclusion of condensate in the thermodynamic cycle of air conditioners. The proposed conceptual design should enable returning of condensate in the vapor phase, which would be supplied dripping of condensate, and latent heat of evaporation would increase the efficiency of the cycle due to better cooling fluid. Based on measurements conducted on the air conditioner type "split system" has been analyzed the dependence amounts of condensate extracted from weather conditions and given a comparative table of the amount of condensate separated in two different locations in terms of climatic conditions. The thermodynamic cycle of real air conditioners and theoretical basis and justification of budgets practical realization of conceptual design have been analyzed.*

CONCEPTUAL SOLUTION FOR IMPROVING ENERGY AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF AIR CONDITIONER

Ana Đorđević, Željko Đurišić