

POREĐENJE PRIMENE RAZLIČITIH SISTEMA GREJANJA I KLIMATIZACIJE U ZGRADARSTVU – ISKUSTVA U SVETU

COMPARISON OF DIFFERENT HVAC SYSTEMS IN BUILDING DESIGN – EXPERIENCES IN THE WORLD

DANIJELA NIKOLIĆ i MILORAD BOJIĆ,
Mašinski fakultet, Kragujevac

U radu se upoređuju načini primene različitih sistema grejanja i klimatizacije u zgradarstvu u zgradama različite namene, pri čemu su kriterijumi za poređenje energetske, ekološke i ekonomske karaktere. Od energetske kriterijuma koristi se efikasnost korišćenja primarne energije, od ekoloških emisija gasova staklene bašte u toku veka trajanja zgrade, a od ekonomskih godišnji troškovi energije. Koriste se i dodatni kriterijumi, i to sigurnost raspolaganja energijom kao i pouzdanost korišćenja ovih energetske sistema. Na osnovu raspoloživih podataka, a na osnovu ovih kriterijuma, kritički su analizirane i smernice za izbor sistema grejanja i klimatizacije u našim uslovima.

This paper compares the application of various heating and air conditioning systems in building designs for various types of buildings, whereby the comparison is made according to energy, environmental and economic criteria. Energy efficiency of primary energy use is the energy criterion, emissions of greenhouse gases during the life cycle of the building is the environmental criterion, while the annual energy costs represents the economic criterion. Additional criteria are also used: security of energy management and reliability of using these energy systems. According to available data and based on these criteria, the paper provides a critical analysis and guidelines for the selection of HVAC systems in our environment.

Ključne reči: sistemi KGH; zgrade; energetska efikasnost; cena energije
Key words: HVAC systems; building; energy efficiency; energy cost

1. Uvod

Stambene i komercijalne/institucionalne zgrade danas u svetu imaju udeo veći od 30% u sekundarnoj potrošnji energije i u emisiji gasova staklene bašte (GHG), kao i značajan uticaj na životnu sredinu. Procena uticaja zgrada na životnu sredinu treba da obuhvati veliki broj činjenica iz više domena, kao što su inženjerstvo, arhitektura, ekologija, socijalni i zdravstveni aspekti, ekonomski i demografski rast. Ve-

liki multidisciplinarni optimizacioni problem treba da bude rešen da bi se prvo projektovala zgrada sa minimalnim uticajima na životnu sredinu, a nakon toga i upravljalo njome.

Lokalni i regionalni parametri su od značaja kako za strukturne karakteristike zgrada, tako i za njihove sisteme za grejanje, hlađenje i klimatizaciju (sisteme KGH). Ovi prirodni parametri u zgradarstvu smatraju se tipičnim, i oni su rezultat evolutivnog procesa, a na njih direktno utiču lokalni klimatski uslovi (temperatura vazduha, sunčevo zračenje, smer i brzina vetra, kiša, sneg, itd.), geološke i druge ekološke karakteristike (npr. seizmička aktivnost), dostupnost i cena građevinskog materijala i komponenti, dostupnost kvalifikovanih kadrova, socijalna i kulturna pozadina, subjektivni operativni zahtevi korisnika i, naravno, regulativa i zakonska osnova. Dalji parametri su dostupnost i cena energenata, s obzirom na mogućnost i kupovinu opreme za grejanje i hlađenje.

Većina radova objavljenih do sada u oblasti inženjerstva fokusirana je na uticaj spoljašnjih omotača i strukturnih sistema na životni ciklus zgrada. Kao pokazatelje koristili su energiju, emisiju i troškove. Manji broj radova odnosio se na uticaj sistema za grejanje, hlađenje i klimatizaciju na životnu sredinu.

Ovaj rad analizira različite sisteme za grejanje, hlađenje i klimatizaciju u stambenim i komercijalnim/institucionalnim zgradama, a predstavlja i inženjerski pristup gde su uticaji na životnu sredinu procenjeni prema životnom ciklusu, korišćenja energije, eksergetskom koeficijentu tokom životnog ciklusa (ECExC), kao i prema emisiji gasova staklene bašte u toku životnog ciklusa zgrade koji zagađuju spoljnu sredinu. Cena životnog ciklusa je takođe uključena, da bi prikazala trenutni ekonomski uticaj zbog instalacije sistema za grejanje, hlađenje i klimatizaciju.

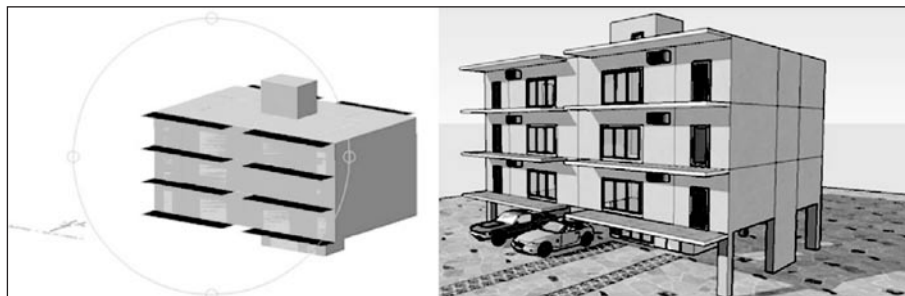
2. Različiti sistemi KGH u poslovnim i stambenim zgradama u Grčkoj

U svom radu, Papadopoulos i autori [1] razmatrali su najpopularnije sisteme grejanja u grčkim zgradama: centralne sisteme toplovodnog grejanja sa uljanim kotlom, koji proizvedenu toplotu distribuiraju putem radijatora. Ovi centralni, visokotemperaturni sistemi, za prenos toplote koriste šeme sa dva voda (razvodni i povratni vod), ili sistem sa jednom prostom cevi. Kontroleri temperature u razvodnom i povratnom vodu služe da optimizuju cirkulaciju, putem trosmernog ventila za mešanje koji je obavezan za sve zgrade više od tri sprata. Često se koristi i kompenzujući termostat, da bi se omogućilo da sistem reaguje na promene temperature sredine. U stanovima se temperatura reguliše pomoću sobnih termostata koji su obično instalirani u dnevnoj sobi. Takvi sistemi su danas zastupljeni samo u starim zgradama. Starije zgrade, sagrađene uglavnom 1950-ih i 1960-ih godina, nemaju instalacije za centralno grejanje, i one su bile grejane naftnim pećima ili električnim uređajima (radijatori, peći).

Opis tipične zgrade

Tipična višeporodišna zgrada ima tri sprata, podignuta iznad zatvorenog parkinga, i nije vezana za bilo koju drugu zgradu (slika 1). Njena glavna fasada se smatra orijentisanom prema jugu. Postoje dve podrumске prostorije koje su predviđene za kotlarnicu i za ostalu opremu. Svaki apartman ima prednji i zadnji balkon širok 2 m. Površina svakog sprata je 240 m², a na svakom spratu su dva gotovo identična stana (po 114 m² svaki), dok ostatak površine čine stepenice. Svaki stan ima dnevni bora-

vak, kuhinju, kupatilo/WC i dve spavaće sobe. Svaka soba predstavlja različitu termičku zonu za toplotnu simulaciju. Zabeleženo je da se Solun nalazi u klimatskoj zoni C, Atina u zoni B i južni deo kopna sa ostrvima u zoni A, koja je najtoplija.



Slika. 1. Tipična grčka višeporodična zgrada

Opis primenjenih sistema grejanja

Upoređeni su sledeći sistemi grejanja:

- Centralni sistem grejanja sa uljanim kotlom (sistem A), bez uređaja za merenje (sistem A1, odgovara starim dvocevnim instalacijama), sa vremenskim meračima (sistem A2, odgovara najpopularnijim prostim cevnim instalacijama) i sa meračima toplote (sistem A3, manje korišćen jednocevni sistem, zbog cene merača toplote). Nominalna efikasnost kotla je do 85%. Grejanje se vrši vodenim radijatorima.

- Centralna toplotna pumpa (u dnevnoj sobi svakog stana i u dve spavaće sobe, u slučaju višeporodičnih zgrada) i električni radijatori (u kuhinji i kupatilu). Svaka soba se zagreva toplotnom pumpom sa razmenjivačem toplote vazduh–vazduh, osim kuhinje i kupatila koji se zagrevaju električnim radijatorima.

- Centralni gasni kotao instaliran je u svakom stanu. Pretpostavljena efikasnost gasnih kotlova je 0,9.

Ova tri sistema grejanja se koriste u većini grčkih stambenih zgrada i poslovnih zgrada.

Rezultati

Prilikom određivanja cene energenta za grejanje od 0,65 \$/l, tj. lož ulja, za grejnu sezonu (zima 2005–2006), uzeta su u obzir i aktuelna kretanja na međunarodnom tržištu cena nafte. U slučaju prirodnog gasa, maloprodajne cene su utvrđene u skladu sa cenovnicima regionalnih distributivnih kompanija [2]. Cene i tarife prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1. Domaće tarife prirodnog gasa

| Potrošnja (kWh) | Fiksna naknada (s) | Cena po kWh |
|-----------------|--------------------|-------------|
| 0–7,182 | 0,053260276 | 0,045606188 |
| 7,183–33,145 | 0,115397255 | 0,038131158 |
| 33,146 | 0 | 0,039316733 |

Emisioni faktori CO₂, PM₁₀ i SO₂ za naftu, gas i električnu energiju prikazani su u tabeli 2 [3].

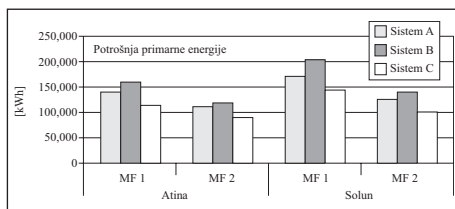
Tabela 2. Emisioni faktori goriva

| Zagađivač | Emisioni faktor (g/MJ) | | |
|-----------------------------------|------------------------|--------------|---------------------|
| | Lož ulje | Prirodni gas | Električna energija |
| Ugljen-dioksid (CO ₂) | 68,479980 | 50,234390 | 102,223969 |
| Sumpor-dioksid (SO ₂) | 0,4821240 | 0,0002512 | 0,6221296 |
| Tvrde čestice (PM10) | 0,0033165 | 0,0023861 | 0,0459684 |

Tabela 3 predstavlja ukupnu potrošnju energije u dva slučaja: bez izolacije MF1 i sa toplotnom izolacijom (stiropor 5 cm) MF2, za sve razmatrane sisteme i energente, u posmatranim gradovima, Atini (zona B) i Solunu (zona C).

Tabela 3. Ukupna potrošnja energije u višeporodičnoj zgradi

| Sistem | Energent | Atina (kWh) | | Solun (kWh) | |
|--------|------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| | | MF 1 | MF 2 | MF 1 | MF 2 |
| A | Lož ulje | 46,377 | 17,885 | 76,225 | 32,309 |
| | Elektr. energija | 28,197 | 28,066 | 28,277 | 28,167 |
| B | Elektr. energija | 47,430 | 35,410 | 60,715 | 41,885 |
| C | Prirodni gas | 53,766 | 26,837 | 81,829 | 40,503 |
| | Elektr. energija | 18,616 | 18,565 | 18,655 | 18,595 |



Slika 2. Primarna potrošnja energije tri sistema

Kao što je i prikazano, sistem sa električnim grejanjem je najskuplji (sistem C). Ipak, u slučaju manjih toplotnih opterećenja, operativni troškovi se mogu uporediti sa onima u sistemu grejanja sa naftnim kotlom. Kao što je i bilo očekivano, jeftiniji sistem je sa gasnim kotlom (i za grejenje i za snabdevanje toplom vodom), a činjenica koja to objašnjava je njegov rapidan rast ugradnje u razmatranim gradovima.

Slika 2 prikazuju cenu goriva, spojena sa odgovarajućom primarnom potrošnjom energije svakog sistema. Međutim, može se napomenuti da je za visoku energetska potrošnju sistema C zaslužan nizak stepen efikasnosti grčkog sistema za proizvodnju električne energije, koji se zasniva na upotrebi lignita.

Slike 1 i 2 su preuzete iz [1].

3. Različiti sistemi KGH u stambenim zgradama u Kanadi

Yang i ostali u svom radu [4] predstavljaju poređenje uticaja dva sistema grejanja stambenih zgrada u Kanadi na životnu sredinu: sistem tople vode (hot water heating – HWH) sa mehaničkom ventilacijom i sistem grejanja sa prinudnim strujanjem vazduha (forced air heating – FAH).

Razmatrana je energetska efikasna dvospratna kuća, projektovana i izgrađena 2000. god. Kuća se sastoji od suterena, prizemlja i prvog sprata. Ukupna površina je oko 310 m². Kuća ima drvenu strukturu i omotač od opeke. Projektovano toplotno opterećenje je 11,1 kW, na spoljašnjoj temperaturi od -23 °C i unutrašnjoj temperaturi od 21 °C.

Dvocevni HWH sistem se sastoji od nekondenzujućeg električnog ili gasnog kotla, radijatora, cirkulacione pumpe, bakarnih cevi, fittinga i ekspanzionog suda. Kotao je snage 12,2 kW, koja je najbliža vrednost projektovanim potrebama, koju je moglo da ponudi tržište, a da zadovolji toplotne potrebe. Projektovane temperature vode koja ulazi u kotao i iz njega izlazi su 90 °C i 70 °C. HWH sistem je dopunjen mehaničkom ventilacijom, kapaciteta 0,066 m³/s, koji je u skladu sa minimalnim ventilacionim potrebama od 0,35 izmena na sat. Ventilator koji koristi otpadnu toplotu (heat recovery ventilator – HRV) sa koeficijentom efikasnosti od 0,65 koristi se u cilju smanjenja gubitaka energije za grejanje hladnog vazduha koji se dovodi u ventilacione svrhe. HRV omogućava izbalansiran ventilacioni sistem. On ima električni pregrejač kojim se izbegava kondenzacija u samoj jedinici, i dodatni grejač kojim se povisava temperatura vazduha koji izlazi iz HRV i odlazi u prostoriju odgovarajuće sobne temperature.

FAH sistem se sastoji od nekondenzujućeg gasnog ili električnog kotla sa ugrađenim kompresorom kao i kanala i difuzora. FAH sistem je balansirani sistem koji meša spoljašnji vazduh sa povratnim vazduhom iz same kuće. Mešani vazduh se zagreva od temperature mešanja do zahtevane temperature, grejačem koji koristi prirodni gas ili struju. Projektovana snaga kotla je 16 kW, a kapacitet 0,55 m³/s, i on je u stanju da zadovolji grejne potrebe od 11,1 kW i toplotno opterećenje od 3,5 kW za grejenje ventilisanog vazduha. Mada FAH sistem zahteva veći protok vazduha od HWH sistema za zadovoljenje toplotnih potreba, oba sistema obezbeđuju protok ventilisanog vazduha od 0,066 m³/s.

Poređenje je vršeno prema potrošnji energije u životnom ciklusu, emisiji štetnih gasova (GHG) u životnom ciklusu, očekivane kumulativne eksergetske potrošnje (ECEXC), totalnoj eksergetskoj i energetske efikasnosti i ceni tokom životnog veka.

Energetske karakteristike sistema za grejanje su procenjivane korišćenjem COP-a (coefficient of performance) (tabela 4).

Tabela 4. Srednji godišnji koeficijent performansi HWH i FAH sistema sa električnim i gasnim kotlom

| HWH sistem | Električni kotao | Gasni kotao |
|--|-------------------------|--------------------|
| COP _{HWH} bez HRV | 0,94 | 0,87 |
| COP _{HWH} sa HRV ($\eta = 0,65$) | 1,52 | 1,37 |
| COP _{ukupni} bez HRV | 0,67 | 0,71 |
| COP _{ukupni} sa HRV ($\eta = 0,65$) | 1,08 | 1,15 |
| FAH sistem | Električni kotao | Gasni kotao |
| COP _{FAH} | 0,77 | 0,67 |
| COP _{ukupni} | 0,54 | 0,63 |

Ovakav pristup omogućava bolju procenu performansi opreme za grejanje i ventilaciju. Vrednost COP-a za HWH sistem je, npr. izračunavan kao odnos ukupnog toplotnog opterećenja kuće Q_{load} i ukupne iskorišćene energije Q_{site} prirodnog gasa (za gasni kotao) i električne energije (za cirkulacionu pumpu i ventilator).

Rezultati simulacije pokazuju da je HWH sistem energetski efikasniji na godišnjem nivou od FAH sistema, čak i kada se HRV ventilator ne koristi. Emisija štetnih gasova postoji i pri korišćenju fosilnih goriva u kotlovima i pećima i prilikom korišćenja električne energije.

Ako sistem grejanja koristi električnu energiju umesto gasa, emisija štetnih gasova je manja, naročito u Kvebeku, zbog specifičnosti, jer se tamo 95% električne energije dobija iz energije vodenih tokova.

Tabela 5. Poređenje sistema HWH i FAH tokom godišnjeg procesa rada

| Sistem | Prirodni gas | | Električna energija | | Ukupna emisija GHG | Godišnja cena |
|----------------------------------|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| | kWh | Tona CO ₂ | kWh | Tona/CO ₂ | Tona/CO ₂ | (\$) |
| HWH, električni kotao, bez HRV | – | – | 19590 | 0,615 | 0,615 | 1407 |
| HWH, električni kotao, sa HRV | – | – | 14160 | 0,444 | 0,444 | 1040 |
| HWH, gasom loženi kotao, bez HRV | 11,92 | 2,71 | 9290 | 0,292 | 3,000 | 1472 |
| HWH, gasom loženi kotao, sa HRV | 11,92 | 2,71 | 3860 | 0,121 | 2,831 | 1128 |
| FAH, električna peć | – | – | 19950 | 0,627 | 0,627 | 1407 |
| FAH, gasna peć | 21,81 | 4,97 | 74 | 0,02 | 4,967 | 1503 |

Godišnji energetski troškovi oba sistema za grejanje su izračunati prema lokalnim cenama u januaru 2005. god. Rezultat je da HWH sistem sa HRV radi sa nižim troškovima na godišnjem nivou, u poređenju sa FAH sistemom (tabela 5).

Yang i ostali autori smatraju da HWH sistem sa HRV ventilatorom ima nižu potrošnju energije tokom životnog veka, a FAH sistem sa gasnim kotlom ima najviše energetske troškove u životnom veku (tabela 6). Emisija štetnih gasova tokom životnog veka je prikazana u tabeli 6 takođe. Grejni sistemi sa gasnim kotlovima i pećima izazivaju veće zagađenje od korišćenja električnih kotlova. FAH sistem sa električnim kotlom ima najviši eksergetski koeficijent tokom životnog ciklusa (ECExC – tabela 6), u poređenju sa HWH sistemom bez HRV. Kada se koristi HWH sistem sa HRV, ECExC se smanjuje.

Rezultati pokazuju da grejni sistemi u fazi kada ne rade imaju marginalni uticaj na životnu sredinu, dok je u fazi rada njihov uticaj veoma značajan.

Tabela 6. Poređenje HWH i FAH sistema tokom životnog veka

| Sistem | Potrošnja energije (MJ/m ²) | GHG emisija (tona CO ₂ /m ²) | ECEXC (MJ/m ²) | Cena (CAN \$) |
|----------------------------------|---|---|----------------------------|---------------|
| HWH, električni kotao, bez HRV | 7020 | 0,060 | 9070 | 108 |
| HWH, električni kotao, sa HRV | 5030 | 0,043 | 6580 | 95 |
| HWH, gasom loženi kotao, bez HRV | 7600 | 0,290 | 9320 | 114 |
| HWH, gasom loženi kotao, sa HRV | 5700 | 0,274 | 6840 | 99 |
| FAH, električna peć | 7040 | 0,061 | 9580 | 88 |
| FAH, gasna peć | 7710 | 0,481 | 8480 | 93 |

4. Panelno, podno i zidno grejanje u stambenim i komercijalnim zgradama u Švedskoj

Myhren i Holmberg u svom radu [6] analiziraju termičku ugodnost u prostoriji, koristeći različite sisteme grejanja. Glavni cilj njihove studije su saznanja o tome kako različiti grejni sistemi i njihova pozicija utiču na unutrašnju klimu u kancelarijama koje se ventiliraju izlaznim vazduhom, a pri zimskim vremenskim uslovima u Švedskoj.

Razmatrane su dve kancelarije sa različitim ventilacionim sistemima i različitim toplotnim potrebama. Oba sistema su karakterisana velikim brojem izmena vazduha i hladnim infiltrirajućim vazduhom.

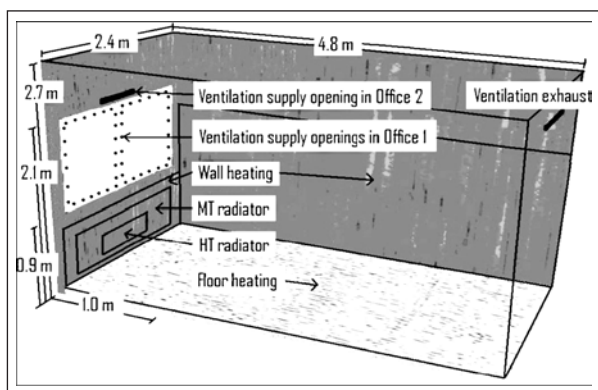
Niskotemperaturno grejanje sa toplotnom pumpom ili drugim niskotemperaturnim uređajima ima nekoliko prednosti. Kada se, npr., koristi toplotna pumpa u niskotemperaturnim sistemima, može se postići značajna ušteda energije jer termička efikasnost pumpe (COP) raste, a gubici energije u distributivnoj mreži opadaju.

Tradicionalno, u Švedskoj je temperatura vode u razvodnom vodu distributivne mreže bila 80 °C, a 60 °C u povratnom vodu. Danas se za tradicionalne radijatorske sisteme koristi topla voda ulazne temperature 55 °C. To dovodi do manjeg ulaznog toplotnog opterećenja, dok se emiteri toplote prave da budu što efikasniji.

Do sada najčešće korišćeni niskotemperaturni sistemi grejanja su podni sistemi. Oni rade dobro uz toplotne pumpe i obezbeđuju dobre unutrašnje klimatske uslove.

Slika 3 predstavlja CFD model, kancelariju dimenzija 4,8 m x 2,4 m x 2,7 m. Na slici su prikazani dva prozora, emiteri toplote i ventilacioni sistem. U svim slučajevima, temperatura razmatrane zone je bila 22 °C, sa odstupanjem od 1,5 °C.

Hladan vazduh ulazi u prostoriju kroz male ulazne otvore. Pri korišćenju podnog i zidnog sistema grejanja, zagrejane struje vazduha koje stvaraju ti sistemi prešle su gotovo pola puta u sobi pre nego što su se pomešale sa sobnim vazduhom. Kada se koristi radijatorsko grejanje, topao vazduh oko radijatora blokira hladan vazduh pre nego što on proдре u prostoriju.

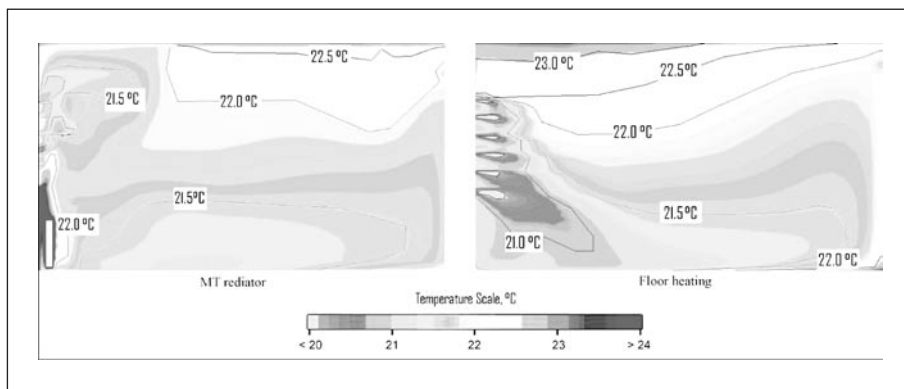


Slika 3. CFD geometrijski model prostorije sa ventilacionim sistemom i pozicijama emitera toplote

mešanje odvija samo oko prozora između toplog vazduha koji struji oko radijatora i hladnog spoljašnjeg vazduha. Veći temperaturni gradijent je zapažen u slučajevima podnog i zidnog grejanja (slika 4).

Zidni sistem grejanja daje rezultate koji su uporedivi sa rezultatima dobijenim primenom podnog sistema grejanja, ali sa malo višim temperaturnim gradijentom.

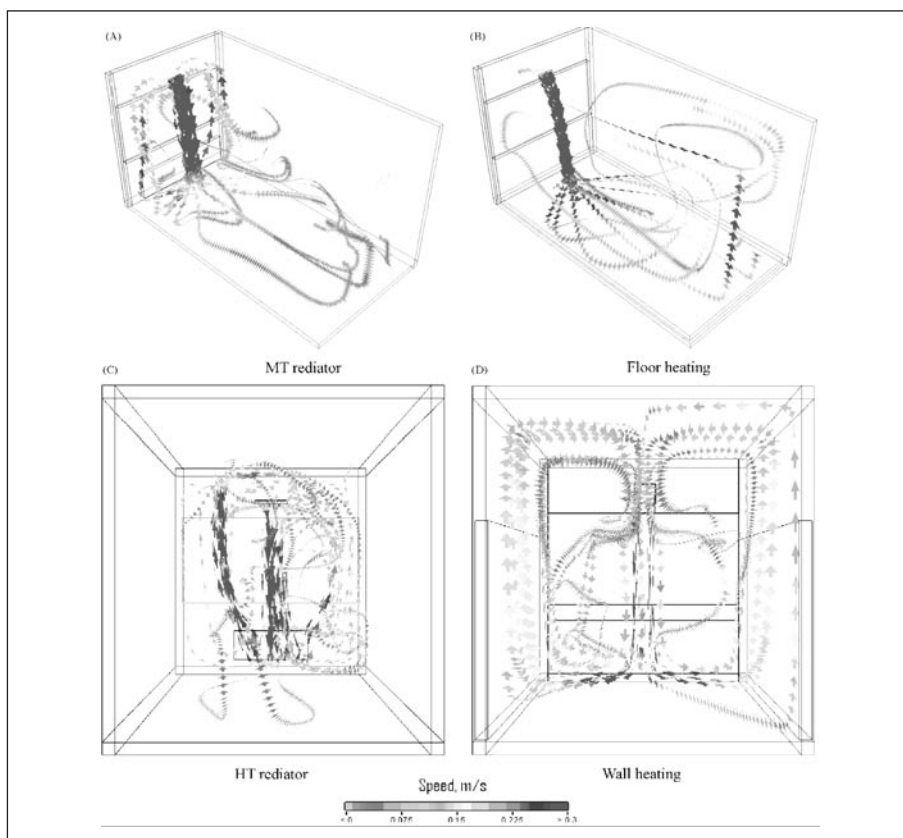
U slučaju radijatora MT (radijator srednje temperature i srednje veličine) i HT (radijator sa toplom vodom) mogu biti primećene samo male promene temperature u vertikalnim ravnima. To potvrđuje da se



Slika 4. Raspodela temperature vazduha sa MT radijatorom i podnim grejanjem, vertikalna ravan $Y = L/2$

Kada se koristi radijatorsko grejanje, najveća aktivnost se može videti u blizini zida sa prozorom, gde se zapaža intenzivno strujanje toplog vazduha iz blizine radijatora. Neko kretanje vazduha se može zapaziti u visini skočnog zgloba od poda, dok je vazduh u oblastima ispod plafona nasuprot prozoru gotovo nepokretan. Sa zidnim grejanjem hladna ulazna struja vazduha se prostire preko poda pre kontakta sa toplim vazduhom. Struje vazduha duž oba duža zida prostorije sreću se ispod plafona i spuštaju u sredinu prostorije. Strujnice su simetrične duž XZ ravni, deleći prostoriju na dva dela. Slika 5 pokazuje strujne linije za sve slučajeve.

Slike 3, 4 i 5 su preuzete iz [6].



Slika 5. Strujne linije pokazuju strujanje vazduha u prostoriji

4. Zaključak

Studija tipične grčke višeporodične kuće i poređenje tri najčešće zastupljena sistema grejanja vodi ka nekim korisnim zaključcima, zahvaljujući uticajima zgrade i samih sistema grejanja na životnu sredinu. Prirodni gas i ogovarajući sistem je daleko najjeftinije i najčistije rešenje koje se trenutno nalazi na tržištu.

Prema studiji sistema KGH u Kanadi, HWH sistem sa HRV ventilacijom koji koristi električnu energiju ili prirodni gas ima najnižu potrošnju energije i najveći eksergetski stepen iskorišćenja ECExC tokom životnog veka. HWH i FAH sistemi koji koriste električnu energiju imaju najnižu emisiju štetnih gasova. Konačno, FAH sistemi imaju u proseku manji životni vek od HWH sistema.

Sa aspekta panelnog, podnog i zidnog grejenja, generalni zaključak je da nisko-temperaturni sistemi za grejanje mogu obezbediti dobru termičku ugodnost, dajući manje brzine strujanja vazduha i manje razlike temperatura u prostoriji u poređenju sa konvencionalnim visokotemperaturnim radijatorskim sistemima. Nedostatak nisko-temperaturnog sistema je prodor hladnog ventilacionog vazduha u blizini poda. Iz tog razloga su lokacija emitera toplote i dizajn ventilacionih sistema posebno značajni.

5. Literatura

- [1] **Papadopoulos, A. M., S. Oxizidis, G. Papandritsas**, *Energy, economic and environmental performance of heating systems in Greek buildings*, Energy and Buildings, Vol. 40, 2008.
- [2] *** Thessaloniki Gas Supply Company, Bulletin of December 2006, <http://www.epathessalonikis.gr>.
- [3] *** Greece-National Inventory Report 1990–2003, National Observatory of Athens, 2005, http://www.climate.noa.gr/Reports/Sub_2005.
- [4] **Lijun, Yang, Radu Zmeureanu, Hugues Rivard**, *Comparison of environmental impacts of two residential heating systems*, Building and Environment, Vol. 43, 2008.
- [5] GAZMETRO, <http://www.gazmetro.ca/english/residence/index.html> [last access: March 2005].
- [6] **Myhren, Jonn Are, Sture Holmberg**, *Flow patterns and thermal comfort in a room with panel, floor and wall heating*, Energy and Buildings, Vol. 40, 2008.

kgb