

Prof. dr BRANISLAV TODORVIĆ

PRAVCI RACIONALNOG KORIŠĆENJA ENERGIJE U GRAĐEVINSKIM OBJEKTIMA

THE DIRECTIONS OF RATIONAL ENERGY USE IN BUILDINGS

***Abstract:** With new achievements in science and technology, there always appear new possibilities to reduce energy requirements for heating, ventilating and air-conditioning of buildings. This may be accomplished with better building conservation, as well as with more efficient heating, ventilating and air-conditioning systems.*

Entering the new century, beside better building insulation and tightness, the reduction of needed energy consumption can be achieved by reducing air quantity, using the modern induction air-water systems and heat recovery systems as well. And with automatic control of all energy consumers in a building.

In this paper, beside the overview of basic energy strategies in European countries, given is the detailed description of the newest trend in rational energy consumption in air-conditioning systems, which are the most significant ones for maintaining indoor comfort conditions.

1. UVOD

Građevinski objekti u svakoj zemlji predstavljaju najveće potrošače energije, koja se, pre svega, koristi za njihovo zagrevanje, ventilaciju i klimatizaciju. Zbog toga svaka energetska strategija poklanja izuzetnu pažnju ovom domenu potrošnje. Ona se prvenstveno ogleda u građenju objekata određenih termotehničkih karakteristika koje omogućavaju ublažavanje uticaja spoljne klime, u cilju “konzervacije” energije. Ali ona obuhvata i donošenje zakonskih odredbi i obaveznih propisa za projektovanje, izvođenje i održavanje energetskih sistema, baziranih na najnovijim naučnim saznanjima i tehnologijama, sa namerom da se energija koristi racionalno i efikasno. Sve to se čini uz obaveznu brigu o zaštiti životne okoline.

Svaka energetska politika bazira se na praćenju potreba i stvarne potrošnje, na predviđanju budućih potreba, analizi struktura domaćih energetskih resursa, potrebnih količina iz uvoza, njihove cene i vrste. Na Slici 1. prikazana je potrošnja primarnih i sekundarnih izvora energije u Beogradu, odnosno tzv. upotrebni oblika u koje spadaju ugljevi, prirodni gas, tečna goriva, kao i električna energija koja se, u nekim slučajevima, može smatrati i tercijarnim oblikom energije. Slika pokazuje potrošnju u periodu od 1956 do 1995. godine, sa podelom na lični i opšti sektor (stambeni, javni i poslovni objekti), na industriju i saobraćaj. U ličnom i opštem sektoru gotovo celokupna potrošnja se odnosi na zagrevanje i klimatizaciju, dok se u te svrhe troši i oko trećina ukupne potrošnje u industriji. Tako se u Beogradu, a slični odnosi važe u čitavoj zemlji, na grejanje, ventilaciju i klimatizaciju troši oko 50% ukupnih energetskih potreba [1]. Zbog toga, smanjivanjem potrebne energije dobrom izolacijom i zaptivenošću zgrada, i drugim merama koje se tiču samih energetskih instalacija, treba da se stvore uslovi za umanjenje kako potreba u energiji tako i njene potrošnje.

U ovom izlaganju sledi pregled osnovnih strategija pojedinih zemalja Evrope, kao i naučnih saznanja i tehničkih dostignuća čijom primenom se umanjuje potrošnja energije, pre svega u klimatizaciji. To stoga što klimatizacija, ispunjenjem zadatka ventilacije, u bližoj i daljoj budućnosti u toku koje se predviđaju veliki poremećaji u prirodi

planete Zemlje, predstavlja jedini put stvaranju zdravih životnih uslova, naravno, za sada samo u ograničenom prostoru.

2. ENERGETSKA STRATEGIJA ZEMALJA EVROPE

Sve zemlje Evrope teže smanjenju potrošnje energije, forsirajući to različitim rešenjima, zavisno od specifičnosti uslova koji u njima prevladaju [2].

Tako je u Finskoj akcenat na rasprostranjeno daljinsko grejanje. Cilj je da u 2001. godini 50% svih objekata u zemlji bude priključeno na sistem za daljinski transport toplotne energije, kao rešenje koje najmanje zagađuje spoljnu okolinu, a ostvaruje grejanje sa visokim stepenom korisnosti.

Belgija u štednji energije naglašava zaštitu životne sredine. Zakonska je obaveza da se svaka grejna instalacija pregleda jednom godišnje. Proverava se sadržaj CO₂ koji ne sme da prekorači 9% u produktima sagorevanja, i maksimalna temperatura produkata koja mora da bude ispod 300°C. U kancelarijskim objektima smanjuju se gubici toplote kontrolom zatvaranja vrata i prozora posle radnog vremena, a sistemi za vazdušno grejanje i klimatizaciju rade sa minimalnim sadržajem spoljnog vazduha. Obavezna je stroga kontrola temperature u objektu koja treba da bude zimi 20°C, a ljeti samo 5°C ispod spoljne, uz relativnu vlažnost u grejnom periodu 45%, a u letnjem 65%.

U Švedskoj je procenjeno da loša klimatizacija donosi velike ekonomske gubitke, čak 1 – 3 milijarde kruna godišnje, pa je za klimu koja se ostvaruje u zgradi uveden garantni rok od 10 godina.

Danska je 90% ukupnih potreba za energijom 1973. godine podmirivala naftom iz uvoza, što je do 1985. smanjeno na 55%. Forsiraju se generatori vetra i pasivno korišćenje sunčeve energije. Uvedene su dotacije za sve mere štednje energije, a naglasak je na kontroli termofizičkih karakteristika zgrada, koja se ocenjuje kao najrigoroznija u Evropi.

Nemačka je propisala maksimalni koeficijent prolaza toplote kroz omotač zgrade, koji zavisi od njenih dimenzija i varira od 1,2 do 0,6W/m²K.

Belgija, Finska, Švedska, Danska i Nemačka su svojim geografskim položajem predodređene na duže grejne periode, sa relativno niskim spoljnim temperaturama. Međutim, i južne evropske zemlje čine napore da ostvare racionalno korišćenje energije.

Italija je 1976. godine usvojila Zakon o minimalnom nivou termičke izolacije, a od 1991. na snazi je Zakon o racionalnoj potrošnji. Obaveza je da se u sistemima klimatizacije uvek predvidi povratno korišćenje toplotne energije, uz stepen korisnosti povraćaja većim od 40%. Grejanje privatnih i javnih bazena nije dozvoljeno vršiti konvencionalnim izvorima energije.

U Grčkoj se leti koristi noćno pasivno hlađenje strujanjem vazduha pri njegovim nižim temperaturama u cilju sniženja temperature građevinske mase. Na taj način se povećava sposobnost akumulacije toplote u toku sledećeg dana, a smanjuje potrebna energija za hlađenje zgrade.

U našoj zemlji je ograničena specifična potrebna količina toplote za grejanje na 100W/m^2 , uz zahtev da se u sistemima provetravanja i klimatizacije obavezno ugrađuju uređaji za povratno korišćenje toplote, ali se to do sada nije poštovalo, a ni kontrolisalo.

Evropska zajednica se pripremila [3] da u XXI veku gradi energetske efikasne objekte, za čije istraživanje je finansiran projekat "Energija za ugodnost 2000. godine". Trebalo je definisati najekonomičnije metode, tehnike i tehnologije kojima bi se potrošnja za grejanje, hlađenje i klimatizaciju zgrada smanjila čak reda veličine 50%, uz istovremeno smanjenje emisije ugljen-dioksida i do 70%. U unutrašnjosti objekta se naglašeno zahtevaju dobri vidni i termički uslovi, uz minimizaciju klimatizacije, odnosno količinu svežeg vazduha, sve to uz primenu individualne kontrole uslova ugodnosti i regulacije grejanja, klimatizacije i osvetljenja.

3. RACIONALIZACIJA POTROŠNJE ENERGIJE SMANJENJEM KOLIČINE VAZDUHA

Prilikom klimatizovanja nekog prostora ubacuje se određena količina spoljnog vazduha kako bi se zagađenje u prostoriji svelo na dozvoljenu meru. Kada se to čini uvođenjem vazduha kroz klasične otvore, uglavnom predviđene pri tavanici ili u njoj samoj, relativno

većim brzinama, radi se o principu ventilacije razblaživanjem vazduha u prostoriji mešanjem dovedenog - "čistog" vazduha i zagađenog u prostoriji, što zahteva pripremu, razvođenje i vođenje znatnih količina vazduha kroz kontrolisani prostor.

Mešanje zagađenog i čistog vazduha znači da ljudi nikada ne udišu čist, već uvek samo zagađen vazduh ali koncentracije zagađenja smanjene na dozvoljenu vrednost, Slika 2. Profesor Fanger sa Danskog kraljevskog univerziteta upoređuje to sa kupanjem u javnom bazenu i tuširanjem [4]. On predviđa da će u novom veku svaki pojedinac dobijati svoj obrok čistog vazduha direktno u pravcu lica, čemu se već današnja rešenja približavaju primenom principa ventilacije prostorije potiskivanjem.

Princip ventilacije, odnosno prostrujavanja vazduha potiskivanjem zasniva se na činjenici da je većina izvora zagađenja, posebno u komfornoj ventilaciji, na višoj temperaturi od okoline, pa se vazduh istovremeno i zagađuje i zagreva, a usled sile prirodnog uzgona struji naviše [5], što se efikasno ostvaruje u režimima hlađenja. Vazduh se ubacuje u donji deo prostorije, malom brzinom, uz izvlačenje zagrejanog i zagađenog iz gornjeg dela. Na taj način se malom količinom vazduha postiže niža koncentracija zagađenja u zoni boravka ljudi nego primenom razblaživanja, a veća u slojevima pri tavanici, gde zahtevi za čistim vazduhom nisu od primarne važnosti, Slika 3. Uz čistiju sredinu u zoni boravka ljudi, smanjenom količinom vazduha koja se obrađuje, distribuira i uvodi u prostorije postižu se velike energetske uštede.

4. SMANJENJE POTROŠNJE ENERGIJE SAVREMENIM VODENO-VAZDUŠNIM KLIMATIZACIONIM SISTEMIMA

4.1. Upoređenje vode i vazduha kao nosilaca toplote

Sistemi klimatizacije, uz održavanje određenih termičkih parametara u unutrašnjem prostoru, imaju i zadatak ventilacije, pa zato uvek koriste vazduh kao radni medij. Međutim, voda je efikasniji prenosilac toplote, pa su tzv. vodeni sistemi, sa stanovišta transporta energije, mnogo ekonomičniji, [6]. To potiče i od relevantnih termofizičkih karakteristika ova dva fluida, Tabela I.

Tabela I: Voda i vazduh kao nosioci toplote

Karakteristika	Dimenzije	Voda	Vazduh
Specifična toplota	C_{pm} [kJ/kg K]	4.187	1.0
Gustina	ρ [kg/m ³]	1000	1.2
Specifična toplota	C_{pv} [kJ/m ³ K]	4187	1.2

Uočljivo je da je gustina vode skoro hiljadu puta veća od gustine vazduha i, uz to, četiri hiljade puta je veća njena specifična toplota svedena na jedinicu zapremine. To praktično znači da se, u odnosu na vazduh, sa mnogo manjom masom vode, odnosno manjim protokom, mogu postići slični toplotni efekti. Naravno, kada je reč o primeni ovih fluida u klimatizaciji, upoređenja se moraju izvršiti pri realnim uslovima koji odgovaraju praksi, uz poštovanje ograničenja koja diktiraju temperaturski uslovi komfora sa jedne strane, i brzine strujanja vode i vazduha kroz cevovode, sa druge. Jer, to su parametri od kojih zavisi presek cevovoda, ugrađena masa kanala i cevi, prostor koji zauzimaju, kao i energija za njihov transport.

Upoređujući vodu i vazduh pri prenosu jednake količine toplote Q u cilju grejanja, ograničenja koja se moraju poštovati odnose se na njihove temperature. Optimalne temperature vode pri zadatku grejanja u razvodu su 90°C, a u povratku 70°C, dok se vazduh u prostor komforne temperature od 20°C ubacuje sa najviše 15K iznad nje. Brzina vode je, s obzirom na njenu gustinu i temperatursku razliku u razvodu i povratu, do 1,5m/s a vazduha i deset puta veća. Sve to ukazuje, Tabela II, da je voda sa zadatkom grejanja daleko racionalnija za prenos toplote: odnos protoka vode i vazduha je 1:4600, a preseka cevovoda 1:620. I kada je u pitanju hlađenje prednost vode je još uvek značajna, Tabela III, mada ne kao pri zagrevanju. Ovo zbog većih ograničenja temperature hladne vode koja, zbog efekta hlađenja, mora da bude niža od temperature vazduha koji se ubacuje u klimatizovani prostor, ali ne bliska temperaturi mržnjenja. I pored ovih strožijih ograničenja, odnosi kako protoka voda/vazduh (1:1000), tako i preseka njihovih cevovoda (1:17) ukazuju na prednost vode.

Ako bi se računali padovi pritiska koje treba da savladaju pumpa, odnosno ventilator za transport vode odnosno vazduha kroz cevovode, onda je i u tom pogledu voda povoljnija.

Tabela II: Voda/vazduh u uslovima grejanja

Karakteristika	Dimenzije	Voda	Vazduh
brzina strujanja kroz cevovode	v [m/s]	1.5	15
temperaturska razlika	Δt [K]	90-80	35-20
protok $Q/C_p \cdot \rho \cdot \Delta t$	V [m ³ /h]	Q/83 740	Q/18
presek cevovoda V/v	A [m ²]	Q/167 000	Q/270

Tabela III: Voda/vazduh u uslovima hlađenja

Karakteristika	Dimenzije	Voda	Vazduh
temperaturska razlika	Δt [K]	3-5	10
protok $Q/C_p \cdot \rho \cdot \Delta t$	V [m ³ /h]	Q/12 600	Q/12
presek cevovoda V/v	A [m ²]	Q/18 900	Q/180

Zaključak je očigledan: ako se iz razloga ventilacije i regulisanja vlažnosti u kontrolisanom prostoru vazduh ne može izbeći, kombinacija vazduha i vode kao prenosioca toplote nameće se kao racionalno rešenje, što je našlo primenu u vodeno-vazдушnim klimatizacionim sistemima [7].

4.2. "Vodeno-vazdušni" sistemi prema "vodenim"

Kod čisto vazдушnih sistema ukupna količina vazduha određuje se iz uslova ventilacije, kao i temperature koju treba da ima ubacna struja da bi zadovoljila uslove komfora. Ona treba da bude najviše 10-15K iznad temperature koja se u prostoriji održava zimi, a 5-8K ispod nje tokom letnjeg hlađenja. Da bi se ove temperature postigle, naročito zbog ograničavanja temperature ubacne struje leti, ukupna, zbog uslova komfora, količina vazduha koja se obrađuje i vodi kroz sistem mnogo je veća od količine neophodne za ventilaciju. U cilju uštede energije, količina iznad one diktirane uslovima ventilacije dopunjuje se ponovnim korišćenjem vazduha iz prostorije, koji je već učestvovao u zadatku klimatizacije/ventilacije, tzv.

recirkulacionog vazduha. Šema takvog sistema prikazana je na Slici 4b. Za ukupnu količinu vazduha od, na primer, $350\text{m}^3/\text{h}$ obrađuje se $100\text{m}^3/\text{h}$ spoljnog, neophodnog za ventilaciju, i $250\text{m}^3/\text{h}$ povratnog [6]. Kanali za ukupnu količinu vazduha su velikog preseka, i uz njih postoje i kanali za povratni vazduh. Energija za njegovu cirkulaciju je znatna a i prostor koji kanali zauzimaju u zgradi je relativno veliki.

Kod vazdušno-vodenih sistema, međutim, kroz sistem cirkuliše samo spoljni vazduh u količini $100\text{m}^3/\text{h}$. Dopuna do ukupne količine od $350\text{m}^3/\text{h}$ vrši se u aparatu koji je u samoj prostoriji i kroz koji se vazduh u nju neposredno ubacuje. Aparati su indukcionog dejstva sa mlaznicama. Vazduh na izlazu iz mlaznice indukuje sobni – recirkulacioni vazduh, tako da se u prostoriju, faktički, uvodi puna količina od $350\text{m}^3/\text{h}$ koja se u aparatu dogreva ili dohlađuje, zahvaljujući razmenjivaču toplote kroz koji struji voda, više ili niže temperature. Na Slici 4a. predstavljena je šema indukcionog vazdušno-vodenog sistema. Kanal za razvod vazduha je malog preseka, a kanala za povratni vazduh nema. Međutim, postoji cevovod za razvod tople i hladne vode, za precizno regulisanje temperature ubacne struje, koji je malog preseka.

Indukcioni sistemi su počeli da se primenjuju još sredinom veka, ali su bili potisnuti i zbog šumova koji se u mlaznicama proizvode, malog indukcionog dejstva i velikog pada pritiska u mlaznicama. Nova konstrukcija mlaznica, koja se pojavila na tržištu pre 4 godine, eliminisala je sve pomenute nedostatke, tako da se danas indukcioni aparati ponovo koriste. Njihova konstrukcija je takva da vazduh može da se ubacuje malim brzinama pri podu, što omogućava prodor vazduha kroz prostoriju principom potiskivanja uz sve prednosti koje on donosi. Na Slici 5. prikazan je takav aparat sa indukovanjem vazduha odozgo, sa mlaznicom okrenutim nadole i ubacivanjem vazduha u prostoriju kroz vertikalni otvor malim brzinama.

5. UŠTEDE POV RATNIM KORIŠĆENJEM ENERGIJE

Određena količina vazduha koji je obavio svoj zadatak klimatizacije, odnosno ventilacije, odbacuje se u atmosferu. Njegova

temperatura je na temperaturi unutrašnje, što znači da je zimi daleko iznad spoljne, a ljeti niža od nje. Odbacivanje vazduha sa takvim temperaturama predstavlja gubitak energije, koji je u toliko veći u koliko se temperatura otpadnog vazduha više razlikuje od spoljne.

U cilju umanjnja ovog gubitka energije, jedan od načina je ponovno korišćenje toplote otpadnog vazduha, njenim prenošenjem iz struje otpadnog u struju spoljnog vazduha pomoću razmenjivača koji se nalaze u obe struje, međusobno povezanim cevovodima. Pri tome se zimi snižava temperatura otpadnog a povećava spoljnog vazduha, dok je ljeti obrnuto: na račun niske temperature otpadnog vazduha, hladi se i spoljni vazduh koji se koristi u procesu letnje klimatizacije.

Na slici 6. prikazan je sistem "povratnog" korišćenja energije cirkulacijom vode kroz razmenjivače u strujama otpadnog i spoljnog vazduha.

6. RACIONALIZACIJA AUTOMATSKOM REGULACIJOM I UPRAVLJANJEM

U uslovima neprestane varijacije spoljnih klimatskih faktora (temperatura, intenzitet sunčevog zračenja, oblačnost itd.), kao i unutrašnjih poremećajnih uticaja (ljudi, osvetljenje i dr.) dolazi do potrebe za stalnim prilagođavanjem efekata klimatizacije trenutnim zahtevima, kada sistem radi u prelaznim režimima sa kraćim ili dužim trajanjem pregrevanja ili prehladivanja do ulaska u stacionarno stanje novog režima. A to znači kraće ili duže trajanje nepotrebne potrošnje energije, što se primenom automatske regulacije svodi na najmanju meru. Međutim, u modernim građevinama koje se grade kao energetske efikasne postoji i niz elemenata koji su sastavni delovi njene konstrukcije, a koji su osmišljeni da deluju u pravcu smanjenja energetske potrebe za grejanjem i hlađenjem. To su, na primer, zastori na prozorima pomoću kojih se redukuje uticaj sunčevog zračenja, ili slojevi na staklu čijom promenom električnog napona dolazi do smanjenja ili povećanja propustljivosti za sunčeve zrake. U energetske efikasnim zgradama sve je to objedinjeno kontrolom centralizovanim sistemom regulacije, uz monitoring rada liftova, signalizaciju u slučaju aksidentnih pojava, automatsko uključivanje ili isključivanje osvetljenja i sl. Jedan od danas najpoznatijih sistema za

objedinjavanje energetskih izvora i potrošača u zgradi, svih pasivnih i aktivnih uređaja za racionalnu potrošnju energije i ostalih kontrolisanih parametara jeste program BAC-net (*Building Automatic Control*). On omogućava praćenje i kontrolu svih instalacija i aparata u zgradi, uz povezivanje sopstvenih regulacionih uređaja u jedan centralni. Takvih sistema ima više, BAC-net je naveden jer je priznat u međunarodnim standardima [7].

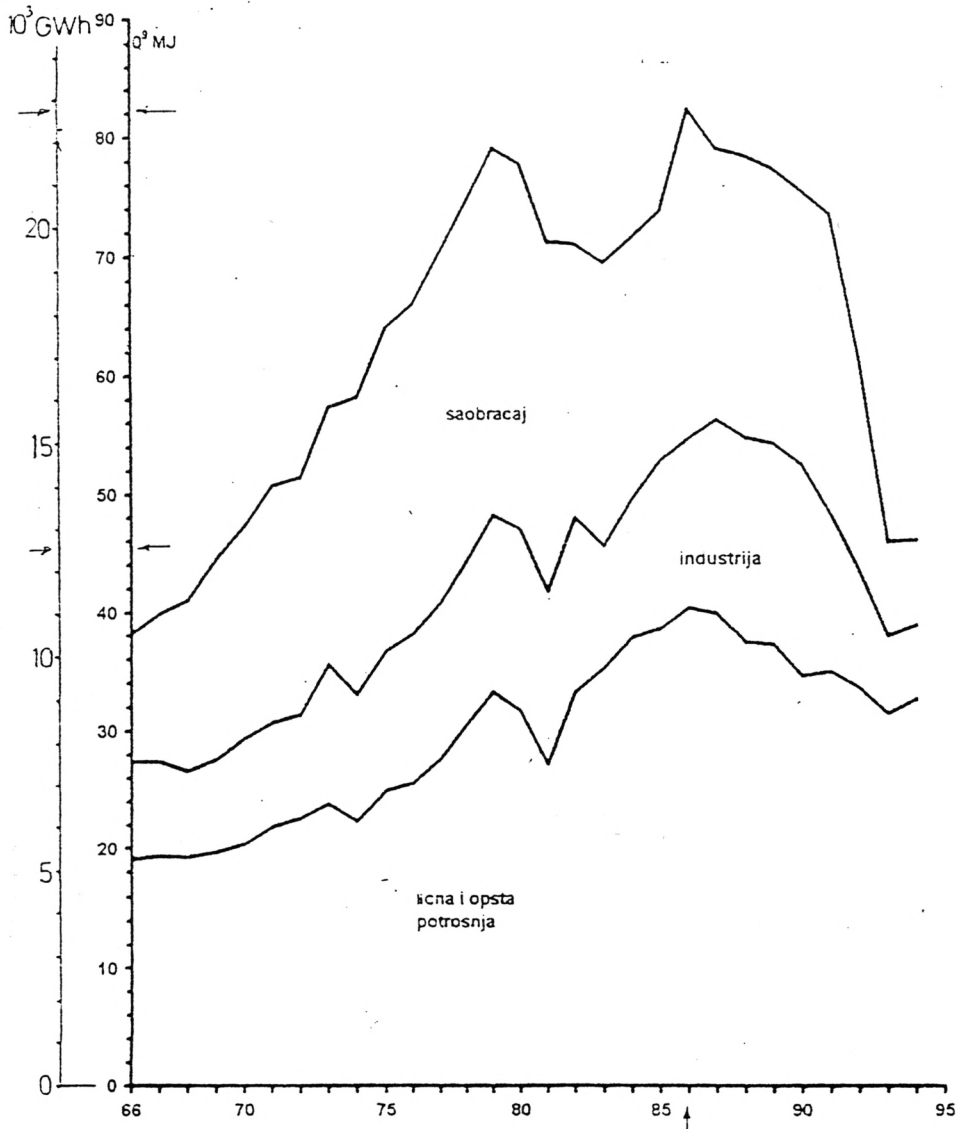
ZAKLJUČAK

Uz sve ozbiljnije promene i poremećaje u spoljnoj sredini, a koji će u budućnosti biti sve kritičniji, klimatizacija predstavlja jedini način održavanja, pored termičkih, i fizičkih uslova za život i rad ljudi. U cilju što manjeg negativnog uticaja na spoljnu prirodu, i racionalnog korišćenja energije pravci daljeg razvoja klimatizacije teže smanjenju količina vazduha koje ovi sistemi obrađuju, na orijentaciju ventilacije ne putem razblaživanja, već metodom potiskivanja, kao i na korišćenje vodeno-vazdušnih klimatizacionih sistema, umesto čisto vazdušnih. Pri tome, tendencija je smanjenje količine otpadne toplote njenim ponovnim korišćenjem u ciklusu obrade vazduha. I, naravno, kontrola podešavanja zgrade sa svim njenim pasivnim osobinama kao i svim aktivnim u koje spada i klimatizacija, u smislu redukcije potrebne energije, a uz održavanje za čoveka najpovoljnijih uslova, i to sve na najekonomičniji način. A to se ostvaruje pomoću automatske regulacije svih ugrađenih uredeja i sistema i upravljanjem u smislu racionalne potrošnje energije.

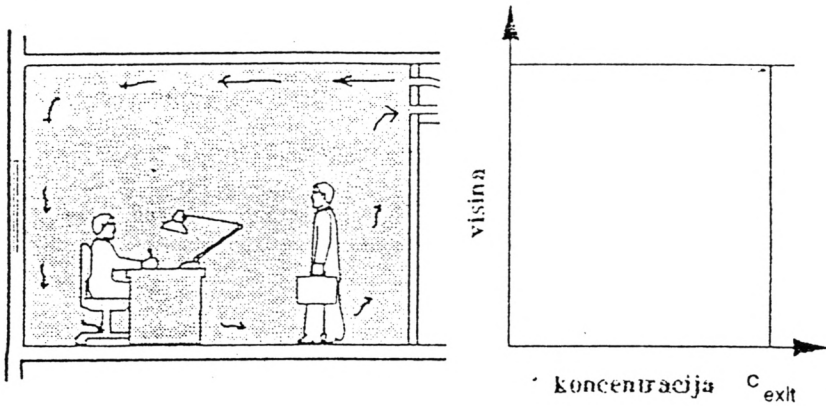
LITERATURA

1. B.Todorović: *Energetika Beograda*, I izdanje, SMEITS, Beograd, 1980.; II izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1982.
2. B.Todorović, B.Živković: *Štednja energije i njena racionalna potrošnja u postrojenjima za grejanje, hlađenje i klimatizaciju u evropskim zemljama*, Časopis o grejanju, hlađenju i klimatizaciji KGH, br.2, str.34-43, izdanje SMEITS, Beograd, 1992.

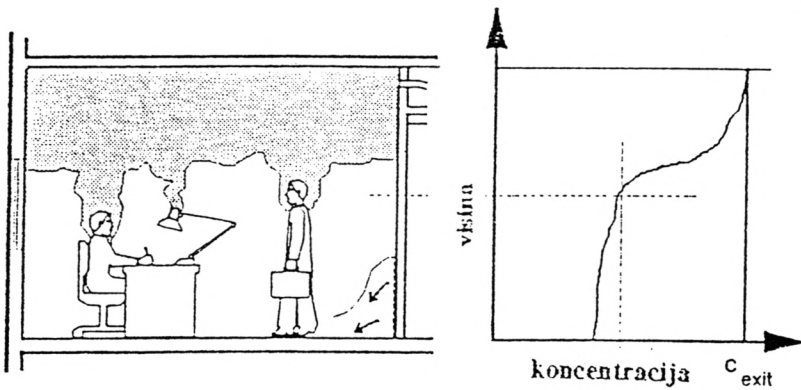
3. M.Todorović: Međunarodni forum "90 dana KGH", Časopis o grejanju, hlađenju i klimatizaciji KGH, br.2, izdanje SMEITS, Beograd, 1996.
4. O.Fanger: *Human Requirements in Future Air Conditioned Environments*, 20. međunarodni Kongres Internacionalnog Instituta za hlađenje, Sidnej, Australija, 1999.
5. H. Skistad: *Displacement Ventilation*, Research Studies Press John Willey&Sons, 1994.
6. B.Todorović: *Air-Water Air Conditioning Systems*, predavanje u sklopu pratećeg seminara Međunarodnog kongresa Internacionalnog Instituta za hlađenje, Sidnej, 1999.
7. K.Guntermann: *The Economic Significance of Air-and-Water Air Conditioning Systems*, Časopis Technik am Bau (TAB), br.5, Nemačka, 1998.
8.*Testiranje sistema BACnet*, Međunarodni forum "90 dana KGH", priredila M.Todorović, Časopis o grejanju, hlađenju i klimatizaciji KGH, br. 4, str. 31-33, SMEITS, Beograd, 1997.



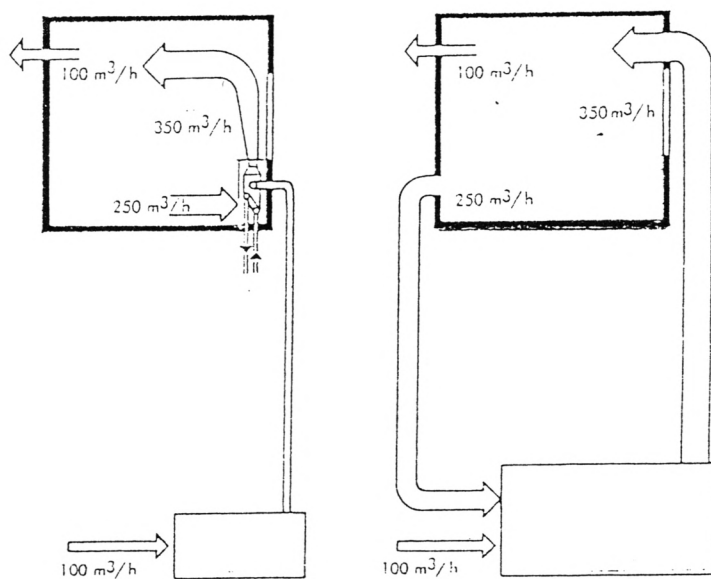
Slika 1. Potrošnja upotrebnih oblika energije u Beogradu razvrstano na ličnu i opštu potrošnju, industriju i saobraćaj



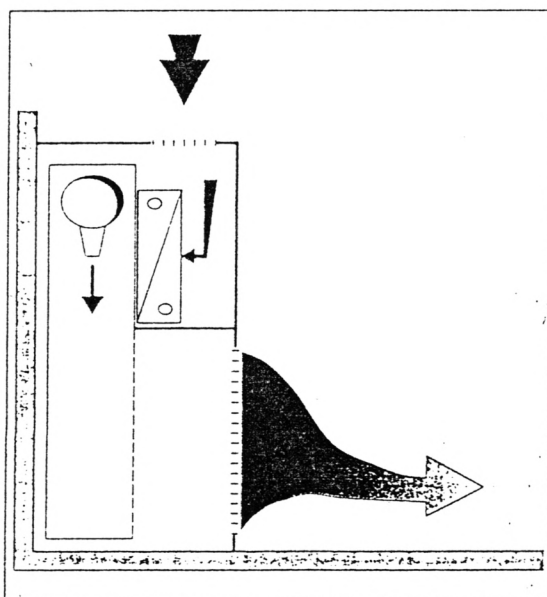
Slika 2. Ventilacija razblaživanjem sa ujednačenom koncentracijom zagađivača po visini prostorije



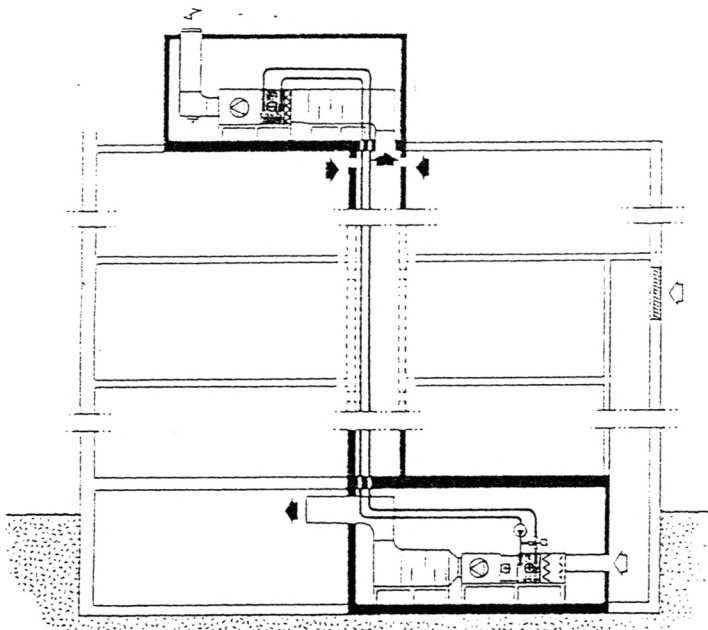
Slika 3. Ventilacija potiskivanjem sa nižom koncentracijom zagađivača u zoni boravka ljudi, višom iznad nje



Slika 4. Vazdušno vodeni sistem



Slika 5. Indukcioni aparati prilagođeni prodiranju vazduha u prostoriju potiskivanjem



Slika 6. Primer sistema za povratno korišćenje energije

