

PREDIKCIJA ENERGETSKI EFIKASNIJEG TIPA GREJANJA UZ POMOĆ MODELA ENERGYPLUS I FAZI LOGIKE

PREDICTION OF THE TYPE OF HEATING WITH
ENERGYPLUS PROGRAM AND FUZZY LOGIC

VELIMIR ČONGRADAC i FILIP KULIĆ,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, i
SLOBODAN LUKOVIĆ,

University of Lugano, Faculty of Informatics, Lugano, Švajcarska

Cilj ovog rada jeste predikcija tipa grejanja u poslovnom objektu za naredne dane korišćenjem simulacije u programu EnergyPlus i odlučivanja korišćenjem fuzzy logike. U tu svrhu izrađen je program koji povezuje vremensku prognozu za naredne dane, izrađen simulacioni model u EnergyPlusu petospratnog poslovnog objekta u Beogradu, simulaciju EnergyPlusa i fuzzy logiku, a kao rezultat daje vrstu grejanja koja je najekonomičnija za korišćenje u određenom danu. Sve u cilju efikasnijeg i racionalnijeg korišćenja energije.

The purpose of this work is prediction of the type of heating for the next few days in an office building using EnergyPlus program for simulation and fuzzy logic for determination. In this matter a program that binds weather forecast, created simulation model in EnergyPlus of a five story building in Belgrade, simulation in EnergyPlus and fuzzy logic, and as a result program gives the type of heating which is the most economic to use for the particular day, was built. Everything is done in the way of most efficient and rational use of energy.

Ključne reči: predikcija; simulacija; EnergyPlus; fuzzy logika; toplotna pumpa

Key words: prediction; simulation; EnergyPlus; fuzzy logic; heat pump

1. Uvod

Istraživanja pokazuju da se od ukupne energije koja se konzumira u razvijenim zemljama, oko 40% odnosi na poslovne i stambene objekte. Najveći potrošači u stambeno-poslovnim objektima su sistemi grejanja, ventilacije i klimatizacije koji troše više od 30% ukupne energije koja se potroši u objektima [1, 2]. Da bi se ušte-

dela energija, koriste se simulacioni programi koji daju dosta korisnih informacija za optimizaciju potrošnje energije.

U radu se korišćenjem simulacionog programa EnergyPlus, BESP (Building Energy Simulation Programme) i fuzzy logike, analizira potrebna energija za zagrevanje objekta i donosi odluka o vrsti grejanja. Poslovni objekat IMEL-a u Beogradu je poslužio za izradu simulacionog modela u EnergyPlusu. Odabrani poslovni objekat poseduje BMS (Building Management System) koji upravlja sistemom klimatizacije, grejanja i hlađenja (KGH).

BMS nam omogućava da nakon simulacije i odlučivanja vrlo jednostavno primenimo odluku o vrsti grejanja slanjem komande BMS-u o vrsti grejanja. BMS vrši prebacivanje sistema grejanja sa gradskog grejanja na toplotnu pumpu i obrnuto.

2. Izrada programa za određivanje vrste grejanja

2.1. EnergyPlus

EnergyPlus je potpuno nov simulacioni program, zasnovan na najpopularnijim karakteristikama i mogućnostima BLAST i DOE-2. EnergyPlus uključuje novi, modularan, struktuiran kod. Prvenstveno je simulaciona "mašina", odnosno, nema interfejs. Ulazi i izlazi su zapetom odvojeni (comma-separated), ASCII tekst fajlovi [3].

EnergyPlus služi energetske analizi i simulaciji toplotnih opterećenja. Zasniva se na korisnički unetom opisu objekta, iz ugla fizičkog izgleda objekta, udruženih mehaničkih sistema itd. EnergyPlus izračunava opterećenja potrebna za grejanje i hlađenje, zahtevana da bi se dostigle željene vrednosti potrošnje, potrebni uslovi za željeni rad sistema KGH, kao i energetska potrošnja opreme za grejanje i hlađenje i mnogo drugih simulacionih detalja koji su potrebni za proveru da li se simulacija ponaša kao i realan sistem [4, 5].

Koraci koji vode do simulacije, treba da uzmu u obzir dizajn objekta, okruženje objekta, ekonomičnost, ugodnost prisutnih u samom objektu, kao i bezbednost. Jedan od najviših prioriteta pri razvoju EnergyPlusa, bio je realizacija integracione simulacije koja obuhvata tačne temperature i predviđanje potrebne ugodnosti.

U EnergyPlusu, dizajnirani su ulazni fajlovi za lako održavanje i proširenje. EnergyPlus koristi slobodan format ulaznih fajlova (Input Data Files – IDF).

Ulazni fajlovi koji su potrebni za uspešnu simulaciju su vremenski fajl *.epw, kao i fajl modela *.idf. Fajlovi moraju da sadrže elemente koji su potrebni EnergyPlus-u za pravilan rad.

Postoji nekoliko vrsta izveštaja o izlaznim podacima, pa je tako moguće videti čak i vizuelni nacrt površina. Pošto je struktura podataka jednostavna i zapetom odvojena (comma-separated), izlazni postprocesori mogu lako čitati podatke i kreirati detaljnije izveštaje.

2.2. Savremeni, integrisani centralni sistemi za nadzor i upravljanje u poslovno-stambenim objektima (integrisani BMS)

Integrisani BMS su bazirani na arhitekturi sa distribuiranim kontrolerima DCS uz podršku svih standardnih komunikacionih protokola. Na taj način uz integrisanu podršku ka svim komunikacionim protokolima koji se primenjuju u BMS-u na jednostavan način, uz dodavanje komunikacionih interfejsa, moguće je spregnuti proizvoljan podsistem poslovno-stambenog objekta (klima-komoru, čiler, toplotnu pumpu, dizel agregat itd.). Integrisani BMS ima mogućnost nadzora i upravljanja nad zajed-

ničkim podsistemima objekta. U tom poslu, on se oslanja na određene parametre dobijene merenjem ambijentalnih vrednosti u kancelacijama, sobama-apartmanima, zajedničkim prostorijama, server salama, itd., ukoliko su oni deo objekta. Dalje, BMS upravlja ambijentom u tim prostorijama i na taj način ostvaruje ciljane uslove koji su primereni za određeni prostor.

2.3. Fuzzy logika

Fuzzy je engleska reč koja bi mogla da se prevede kao maglovito, nejasno, mutno. U fuzzy logici nije precizno definisana pripadnost jednog elementa određenom skupu, već se pripadnost meri u, recimo, procentima. Ove mere pripadnosti, skalirane, mogu da uzimaju vrednosti od 0 do 1.

Fuzzy skupovi su osnovni elementi kojima opisujemo nepreciznost. Naime, diskretan skup sadrži elemente sa istim svojstvima (skup jabuka, skup krušaka, skup celih brojeva itd.), dok fuzzy skupovi sadrže elemente sa sličnim svojstvima (skup visokih ljudi, skup niskih ljudi, skup brzih automobila itd.).

U diskretnim skupovima element ili pripada ili ne pripada određenom skupu. Ako to predstavimo matematički kažemo da je stepen pripadnosti skupu 1 (ako pripada), ili 0 (ako ne pripada).

Elementi u fuzzy skupovima mogu delimično da pripadaju, matematički to možemo da predstavimo na sledeći način 1 (100% pripada), 0 (uopšte ne pripada skupu), 0,7 (70% pripada skupu). Ovim pristupom možemo preciznije da reprezentujemo neprecizne iskaze.

Vidimo da je ova logika jako bliska ljudskoj percepciji o mnogim stvarima u životu. Mnoge slične situacije koje nisu jasno razdvojene, koje su mešavina više stvari, svakodnevno su prisutne oko nas. Ovde smo na prilično nestabilnom terenu, jer relevantnim postaje subjektivno mišljenje o nekoj stvari. Čak i kulturno nasleđe ili generacijske razlike imaju uticaja. Ali to je i poenta. U fuzzy logici istinitost svakog tvrdjenja meri se u procentima.

Funkcija pripadanja predstavlja kontinualno merilo sigurnosti da li je naša promenjiva klasifikovana kao ta lingvistička vrednost. Ova funkcija određuje stepen pripadanja nekog objekta datom *fuzzy* skupu i kontinualna je [7]. Tipične funkcije pripadnosti fuzzy skupa: trougaona, trapezoidna, gausova...

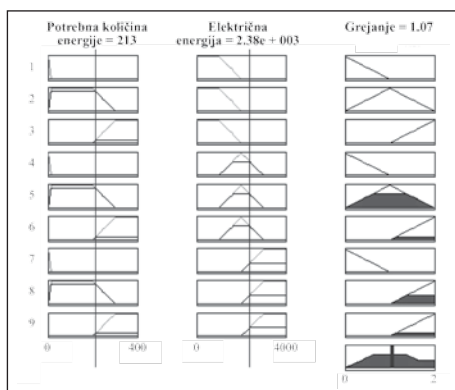
Fazifikacija predstavlja samo vrstu predstave jasnih tj. oštih (crisp) veličina u takvom obliku da bude primenljiv u fuzzy logici. Često se ovaj postupak naziva i kodiranje. To nam omogućavaju upravo funkcije pripadnosti koje u stvari mapiraju stepen istinitosti neke tvrdnje.

Bazu pravila čini lista pravila koja predstavlja odnos ulaza i daje odgovarajući izlaz. Da bismo izrazili posledicu koju proizvode trenutne vrednosti ulaznih pomenjivih, gradimo pravila. Ova pravila imaju oblik: if <premisa> then <posledica>. Sva pravila se izvršavaju paralelno i njihov redosled nije bitan.

Posle fazifikacije ulaznih promenjivih primenjuju se fuzzy operatori shodno utvrđenim pravilima.

Metod mamdani koristi min operator () za fazi implikaciju (\rightarrow). Na slici 2.1 je prikazano kako metod mamdani vrši zaključivanje.

Defazifikacija predstavlja u suštini proces suprotan procesu fazifikacije, pa se naziva i dekodiranje. To je u stvari proces koji treba da pretvori rezultat agregacije, koji u osnovi predstavlja presek površi, u signal koji je razumljiv procesu. Izlaz kon-



Slika 2.1. Fuzzy zaključivanje

slovni objekat na Novom Beogradu [6]. Da bi se u potpunosti implementirao program za određivanje tipa grejanja, potrebno je da na objektu postoji BMS. Modeliranje se vrši u IDF editoru koji je sastavni deo simulacionog programa EnergyPlus.

Za izradu modela korišćeni su podaci dobijeni iz projektnog zadatka i tehničkog opisa opreme za izradu glavnog projekta termotehničkih instalacija grejanja, hlađenja i ventilacije.

Tabela 2.1. Opis sistema

Osnovni podaci o objektu	
Lokacija	Novi Beograd, Srbija
Spratovi	Suteren, prizemlje i četiri sprata
Površina sprata	Oko 500 m ²
Radno vreme	7.00–17.00
KGH sistem	
Grejanje/hlađenje	Četvorocevni fan-coil sistem
Izvor hladne vode	Čiler kapaciteta hlađenja 288 kW
Izvor tople vode	Gradska toplana toplotna pumpa 2 x 163 kW
Zonski termostat	Dual setpoint with deadband
Željene vrednosti temperature grejanja	21°C–23°C
Željene vrednosti temperature hlađenja	23°C–26°C
Klima-komora	Proizvodi svež vazduh konstantne temperature i protoka

Ceo objekat je aproksimiran sa pet jednakih spratova, sa jednakom opremom i zoniranjem, pošto su svi spratovi gotovo jednaki po površini i kapacitetu grejanja i hlađenja.

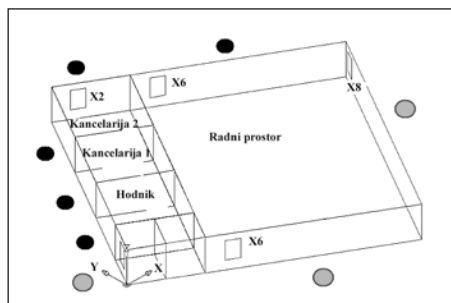
trolera mora da ima jednu jedinstvenu vrednost, najčešće predstavljenu realnim brojem. Defazifikacija je urađena aproksimiranom metodom centra površi (Center of gravity – COG). Aproksimacija je izvršena if-else naredbama u programskom kodu.

2.4. Opis sistema i izrada modela

Za potrebe simulacije i korišćenja rezultata simulacije u odlučivanju, bilo je potrebno izraditi model konkretnog objekta na kome će biti primenjivan program. Potrebno je izvršiti kompletnu realizaciju modela objekta u EnergyPlusu. U tu svrhu, odabran je po-

Arhitektonske i konstrukcione karakteristike su dobijene iz arhitektonskih projekata objekta. Te karakteristike su: dimenzije, materijali, oblik objekta, visine, površine itd.

Zoniranje je izvršeno po rasporedu prostorija (slika 2.2). Termalna zona je fundamentalna jedinica za korišćenje "usluga" sistema KGH i opreme za grejanje i hlađenje u EnergyPlusu. Definicija svake zone uključuje svoju graničnu geometriju, upotrebu zone od strane prisutnih kao i operativni režim.



Slika 2.2. Zoniranje i osvetljenje prvog sprata

Što se tiče modelovanja sistema KGH, ne postoji jedinstven model koji će u potpunosti simulirati ponašanje sistema KGH. Svaka komponenta sistema KGH realizuje se ponaosob.

Nakon realizovanja, vrši se testiranje modela. Testiranje pravilnosti ponašanja sistema obavlja se analizirajući izlazne strukture podataka. Naravno, potrebno je imati prethodno znanje o stvarnom, realnom, ponašanju sistema, kako bi testiranje bilo uspešno.

2.5. Program za određivanje vrste grejanja

Kada se program pokrene, otvara se glavni prozor koji je prikazan na slici 2.3. Moguće je učitati prognozu vremena sa interneta pritiskom na dugme za učitavanje. U slučaju da se prognoza ne učita, biće korišćena prethodno učitana prognoza sa interneta. To važi, takođe, i za slučaj kada se kao vrsta vremenske prognoze izabere automatsko učitavanje prognoze. Pri manuelnom, tj. ručnom, učitavanju ovaj fajl sa interneta se ne koristi [8, 9].

Vremenska prognoza se obnavlja svakoga dana i važi za gradove u Srbiji za tri dana. Potrebno je bilo da program snimi sa interneta vremensku prognozu i prevede je u oblik pogodan za korišćenje u EnergyPlusu. To je realizovano tako što se prognoza sa interneta smešta u bafer i iz njega dalje upisuje u fajl forecast.txt. Iz pomenutog fajla iščitava se prognoza koja se odnosi na Beograd, jer nam je ona potrebna i kreira se fajl vremenske prognoze koji odgovara EnergyPlus format fajla *.epw sa svim potrebnim atributima. Atributi se odnose na konkretan grad za koji je namenjena prognoza, geografska širina, dužina, karakteristične temperature itd.

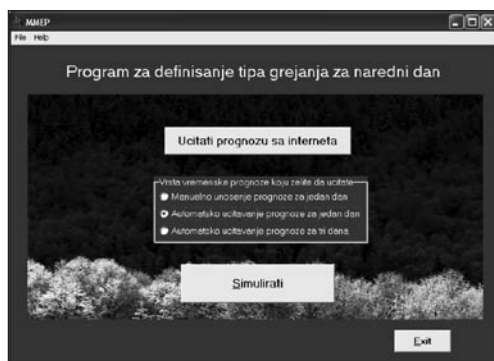
Kao opcija koja je pogodna za korišćenje jeste mogućnost izbora tri vrste simulacije u zavisnosti od vremenske prognoze koje se mogu koristiti. Vrste vremenske prognoze koje se mogu koristiti su:

- ručno učitavanje prognoze za jedan dan,
- automatsko učitavanje prognoze za jedan dan,
- automatsko učitavanje prognoze za tri dana.

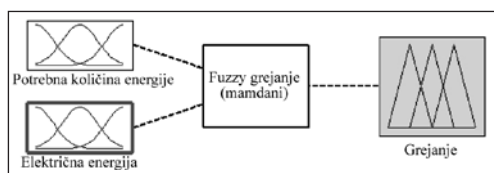
Prva vrsta se odnosi na unošenje datuma i temperature na svaka tri sata za željeni dan. Druga vrsta učitava prognozu iz fajla koji je učitana sa interneta ali za jedan dan, dok treća vrsta radi isto kao prethodna samo za tri dana. Prilikom odbira odgovarajuće vrste prognoze vrši se automatsko učitavanje.

Kada je prognoza uspešno učitana, omogućuje se korišćenje simulacije. Model objekta koji je već izrađen i testiran takođe se koristi prilikom simulacije u EnergyPlusu. Klikom na dugme “simulirati” pokreće se simulacija.

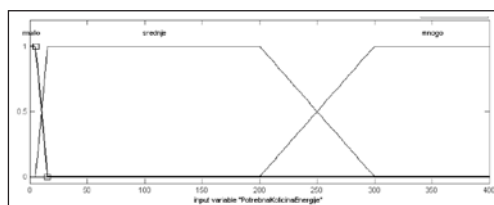
Tom prilikom se poziva EnergyPlus i prosleđuju mu se fajl vremenske prognoze i simulacionog modela poslovnog objekta. EnergyPlus vrši simulaciju. Kao rezultat simulacije dobija se potrebna količina energije za grejanje celog objekta. Dnevna potrošnja električne energije je druga ulazna promenljiva koja se koristi u fuzzy zaključivanju. Merenjem dobijamo količinu potrošene električne energije u toku jednog dana.



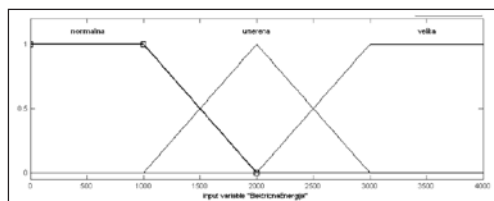
Slika 2.3. Prikaz glavnog prozora programa



Slika 2.4. Fuzzy logička blok-shema



Slika 2.5. Fazifikacija – potrebna količina energije



Slika 2.6. Fazifikacija – električna energija

Nakon što se simulacija izvršila, rezultat simulacije i količina potrošene električne energije se prosleđuju fuzzy logici (slika 2.4) koja ih obrađuje. Ulazne i izlazna promenljiva se fazifikuju (slike 2.5, 2.6 i 2.7).

Na osnovu vrednosti ulaznih promenljivih, baze pravila, metode zaključivanja i defazifikacije (slika 2.1), fuzzy logika donosi zaključak o najpogodnijoj vrsti grejanja za taj dan.

Fuzzy logika je realizovana pisanjem koda (C++) u okviru programa za određivanje vrste grejanja.

Na osnovu dobijenog rezultata fuzzy odlučivanja kreira se fajl koji sadrži informaciju o vrsti grejanja i prosleđuje je BMS-u.

3. Zaključak

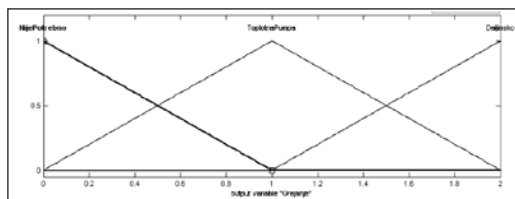
Prednost programa realizovanog kroz ovaj rad je smanjenje potrošnje energije za grejanje u prelaznom i zimskom periodu.

Većina novijih poslovnih objekata u Beogradu sadrži sistem za ventilaciju, klimatizaciju i grejanje (KGH) i samim tim bila bi minimalna ulaganja za implementaciju ovog programa.

Program bi se mogao unaprediti uvođenjem dodatnih elemenata koji bi se koristili pri fuzzy odlučivanju.

Testiranje programa na objektu za koji je projektovan pokazaće ispravnost i opravdanost njegove izrade.

Omogućeno je dodatno usavršavanje i proširivanje programa kako bi se što preciznije i bolje iskoristila raspoloživa energija.



Slika 2.7. Fazifikacija izlazne promenljive grejanja

4. Literatura

- [1] **Crawley, D. B., L. K. Lawrie, et al.**, *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*, Energy and Buildings 33 (4) (2001) 319–331.
- [2] **Zhou, Y. P., J. Y. Wu, R. Z. Wang, S. Shiochi**, *Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions*, Energy and Buildings 39 (2) (2007) 212–220.
- [3] *** *EnergyPlus Getting Started*, in Version 1.2.1, U.S. Department of Energy, 2005.
- [4] *** *EnergyPlus Engineering Document*, in Version 1.2.1, U.S. Department of Energy, 2005.
- [5] *** *EnergyPlus Input-Output Reference*, in Version 1.2.1, U.S. Department of Energy, 2005.
- [6] **Čongradac, Velimir, Filip Kulić**, *HVAC system optimization with CO₂ concentration control using genetic algorithms*, Energy and Buildings, Volume 41, Issue 5, May 2009, Pages 571–577.
- [7] **Konjović Z.**, *Fuzzy logika*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [8] *** *Weather Data at International Locations*, US Department of Energy, Energy efficiency and renewable energy.
- [9] http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata_int.cfm; 2003 [retrieved 01.02.03].

kgH