

KRITERIJUMI ZA IZRAČUNAVANJE BROJA STEPEN-DANA

Broj stepen-dana je ključni parametar pri proceni godišnje potrošnje energije za grejanje metodom stepen-dana. U dosadašnjoj domaćoj praksi, broj stepen-dana je određivan na bazi srednjih mesečnih temperatura. Korišćenjem srednjih dnevnih temperatura spoljnog vazduha, moguće je primeniti različite kriterijume za izračunavanje SD. Primenom 6 različitih kriterijuma, izračunate su vrednosti stepen-dana za 4 karakteristične grejne sezone u Beogradu. Analiziran je uticaj temperature granice grejanja i unutrašnje temperature na broj stepen-dana.

Uvod

Metod stepen-dana spada među najjednostavnije metode za proračun godišnje potrošnje energije za grejanje. Spada u grupu jednoparametarskih metoda, jer se potrošnja energije za grejanje računa samo u zavisnosti od spoljne temperature, dok se uticaj ostalih relevantnih parametara uzima u obzir preko korekcionih faktora. Zbog malog broja potrebnih polaznih podataka i svoje jednostavnosti korišćenja, metod stepen-dana nalazi veliku primenu u inženjerskoj praksi. Ovaj metod je posebno pogodan kada su potrebni samo orijentacioni podaci o godišnjoj potrošnji energije za grejanje, npr. u cilju dimenzionisanja skladišta goriva.

Broj stepen-dana

Broj stepen-dana (SD) predstavlja ključni parametar i po njemu je i sam metod dobio naziv. Predstavlja meru za ocenu uticaja spoljašnje klime, tačnije temperature spoljašnjeg vazduha, na potrošnju energije za grejanje. Broj stepen-dana se može izraziti preko zbira razlika unutrašnje temperature i srednjih dnevnih temperatura u toku grejnog perioda:

$$SD = \sum_{n=1}^Z (t_u - t_{sn}) \quad (1)$$

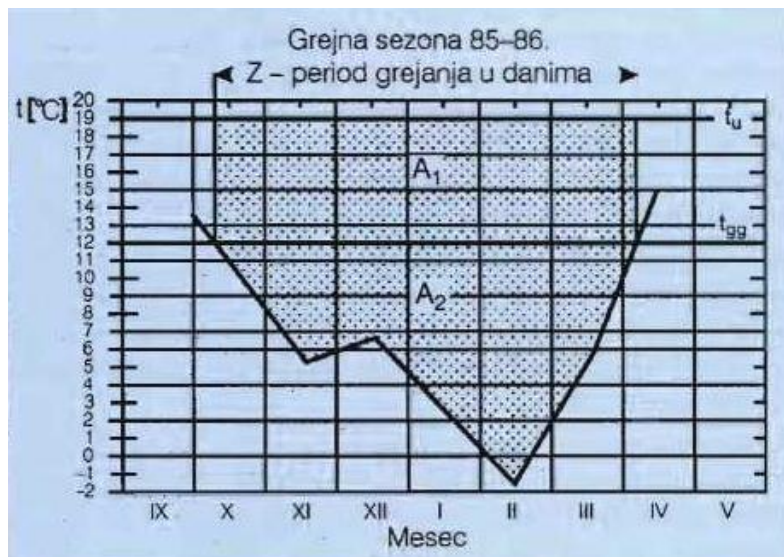
i preko razlike unutrašnje temperature i srednje temperature grejnog perioda:

$$SD = Z (t_u - t_g) \quad (2)$$

Uvođenjem granične temperature grejanja (početak i kraj grejne sezone) izraz (1) se može transformisati u oblik:

$$SD = Z (t_u - t_{gg}) + \sum_{n=1}^Z (t_{gg} - t_{sn}) \quad (3)$$

Godišnji broj stepen-dana za Beograd za višegodišnji period može se naći u literaturi [4 i 5], a prosečan broj stepen- -dana za veliki broj mesta u našoj zemlji u literaturi [2 i 3].

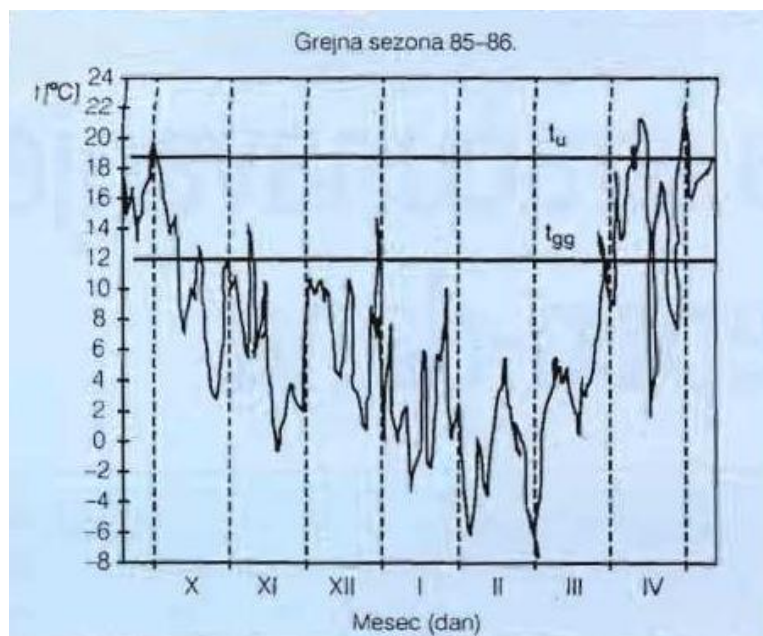


Slika 1. Grafički prikaz broja stepen-dana za Beograd za grejnu sezonu 1985/86, prema srednjim mesečnim temperaturama

Ove vrednosti određene su na osnovu srednjih mesečnih temperatura (slika 1), prema jednačini (3). Umesto pomoću srednjih mesečnih temperatura, dijagram promene spoljne temperature može se preciznije nacrtati na osnovu srednjih dnevnih temperatura (slika 2). Pomoću ovog dijagrama, broj stepen-dana se može izračunati koristeći jednačinu (1) ili (3). Za razliku od dijagrama na slici 1, gde kriva spoljne temperature seče granicu grejanja t_{gg} u dve tačke (početak i kraj grejne sezone), na slici 2 može se videti da postoji više presečnih tačaka između krive promene spoljne temperature i granice grejanja. Ti preseci se obično javljaju u prelaznim periodima (na početku i pri kraju grejne sezone).

KRITERIJUMI ZA ODREĐIVANJE BROJA STEPEN-DANA

Raspolaganje krivom promene spoljne temperature na bazi srednjih dnevnih vrednosti omogućava korišćenje i drugih kriterijuma za izračunavanje broja stepen-dana od dosada korišćenih [2-5].



Slika 2. Grafički prikaz broja stepen-dana za Beograd za grejnu sezonu 1985/86, prema srednjim dnevnim temperaturama

Osnovno pitanje je pri kojoj bi spoljnoj temperaturi trebalo početi sa grejanjem stanova, odnosno posle koliko vremena od sniženja spoljne temperature ispod temperature granice grejanja t_{gg} treba pokrenuti postrojenje za grejanje. Vremenski period od kada se spoljna temperatura spusti ispod granične temperature i početka

grejanja zavisi od akumulacione sposobnosti zgrade, intenziteta unutrašnjih izvora toplote i željenog nivoa ugodnosti.

Što je zgrada masivnije konstrukcije, uticaj promene spoljašnje temperature kasnije se manifestuje u prostorijama, i obrnuto, za zgrade tipa staklenika, kioska, barake, promena spoljne temperature vrlo brzo utiče na unutrašnju temperaturu. Da bi se obuhvatili svi slučajevi gradnje, odnosno uticaj akumulacione mase objekta na potrošnju energije za grejanje, izračunati su brojevi stepen-dana prema različitim kriterijumima i izvršeno je njihovo poređenje.

Prvi kriterijum za proračun broja stepen-dana bazira se na srednjim mesečnim temperaturama (slika 1) i to je u dosadašnjoj praksi bio jedini kriterijum koji je korišćen kod nas [2-5], Svi ostali kriterijumi koriste podatke o srednjim dnevnim temperaturama.

Prema kriterijumu broj 2, grejna sezona počinje kada je srednja spoljna temperatura u tri uzastopna dana niža od temperature granice grejanja (usvojeno je $t_{gg} = 12^{\circ}\text{C}$) i sa grejanjem se počinje sledećeg dana. Slično tome, prekid grejne sezone je kada srednja spoljna temperatura u tri uzastopna dana dostigne i prekorači temperaturu t_{gg} (ta tri dana grejanje radi, odnosno računa se broj stepen-dana). Za ponovni početak grejanja potrebno je da bude ispunjen isti uslov kao na početku grejne sezone.

Kriterijum broj 3 je u osnovi isti kao i kriterijum broj 2, s tom razlikom što sezona grejanja počinje kada se u dva uzastopna dana srednja dnevna temperatura spusti ispod temperature granice grejanja. Analogno tome, za prestanak grejanja dovoljno je da spoljna temperatura u dva uzastopna dana dostigne t_{gg} .

Kriterijum broj 4 za određivanje broja SD odgovara zgradama sa malom akumulacionom sposobnošću. Dovoljno je da jedan dan srednja dnevna temperatura bude niža od temperature granice grejanja i već sledeći dan uključuje se postrojenje za grejanje i uzima u račun taj stepen-dan. Slično uslovu za početak grejanja, čim t_s dostigne t_{gg} , grejanje se prekida.

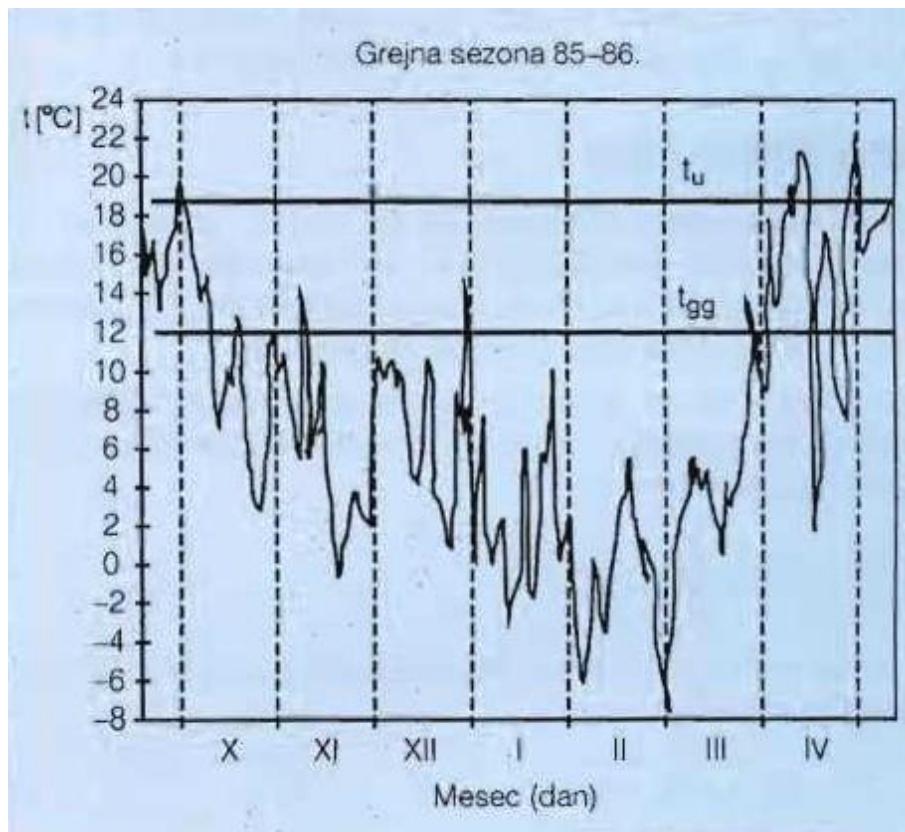
Pri proračunu broja SD prema kriterijumu broj 5, potpuno se zanemaruje akumulaciona sposobnost zgrade, što znači da čim je spoljašnja temperatura ispod temperature granice grejanja smatra se da se uključuje sistem za grejanje i taj dan se uzima u obzir pri određivanju broja stepen-dana. U danu kada je srednja spoljašnja temperatura iznad t_{gg} grejanje ne radi i taj dan se ne računa u broj dana grejnog perioda. Jasno je da kriterijum broj 5 podrazumeva da postrojenje za grejanje ima veći broj uključivanja i isključivanja u toku godine.

Šesti kriterijum predstavlja kombinaciju drugog i petog kriterijuma. Početak grejne sezone je kada srednja spoljašnja temperatura u tri uzastopna dana bude niža od temperature granice grejanja (kriterijum broj 2), a zatim se, kada je grejna sezona počela, pri proračunu SD uzimaju u obzir svi dani kada je t_s niža od t_{gg} , a izostavljaju dani kada je t_s viša od t_{gg} (kriterijum broj 5). Kraj grejne sezone je kada spoljna temperatura u 3 uzastopna dana poslednji put dostigne ili premaši temperaturu granice grejanja (kriterijum broj 2). Po prestanku grejne sezone, eventualni slučajevi da spoljna temperatura u nekom danu padne ispod temperature granice grejanja, ne uzimaju se u obzir pri proračunu broja stepen-dana određenom prema kriterijumu broj 6.

Za analizu i izračunavanje broja stepen-dana prema navedenim kriterijumima, korišćeni su podaci o srednjim dnevnim temperaturama u četiri karakteristične godine u Beogradu [6], Na osnovu proračuna broja stepen-dana za Beograd u periodu od 1979. do 1995. godine [5], kao reprezentativne su odabrane.

- grejna sezona 1986/87. kao ekstremno hladna,
- grejna sezona 1982/83. kao ekstremno topla,
- grejne sezone 1985/86. i 1991/92. kao prosečne (broj stepen-dana u tim godinama približan je prosečnom broju SD za Beograd u dužem vremenskom periodu).

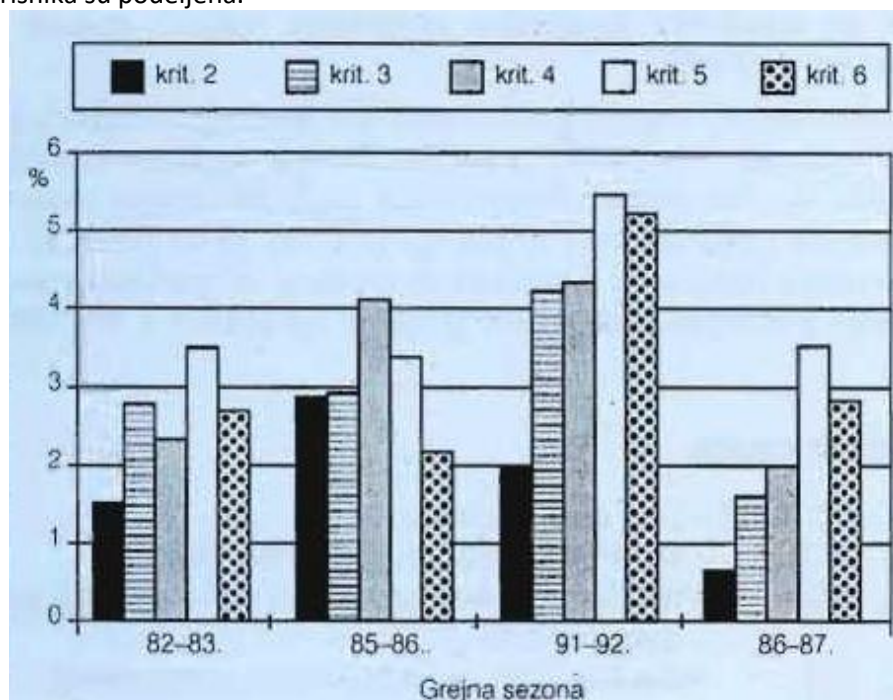
Na slici 3 prikazan je broj SD za karakteristične grejne sezone u Beogradu, izračunat prema šest kriterijuma. Procentualna razlika broja stepen-dana izračunatih na osnovu srednjih dnevnih temperatura (kriterijumi 2 do 6) u odnosu na broj SD prema srednjim mesečnim temperaturama (kriterijum 1) prikazana je na slici 4. Može se uočiti da je broj stepen-dana određen "konvencionalnim" postupkom (preko srednjih mesečnih temperatura) manji nego kada se računa preko srednjih dnevnih temperatura (prema svim primenjenim kriterijumima). Najveći broj stepen-dana, po pravilu, dobija se korišćenjem kriterijuma broj 5.



Slika 3. Broj stepen-dana za Beograd prema različitim kriterijumima

TEMPERATURA GRANICE GREJANJA

U našoj zemlji se uobičajeno usvaja da je temperatura granice grejanja 12°C. Da li je to prava mera? Mišljenja i stručnjaka i korisnika su podeljena.



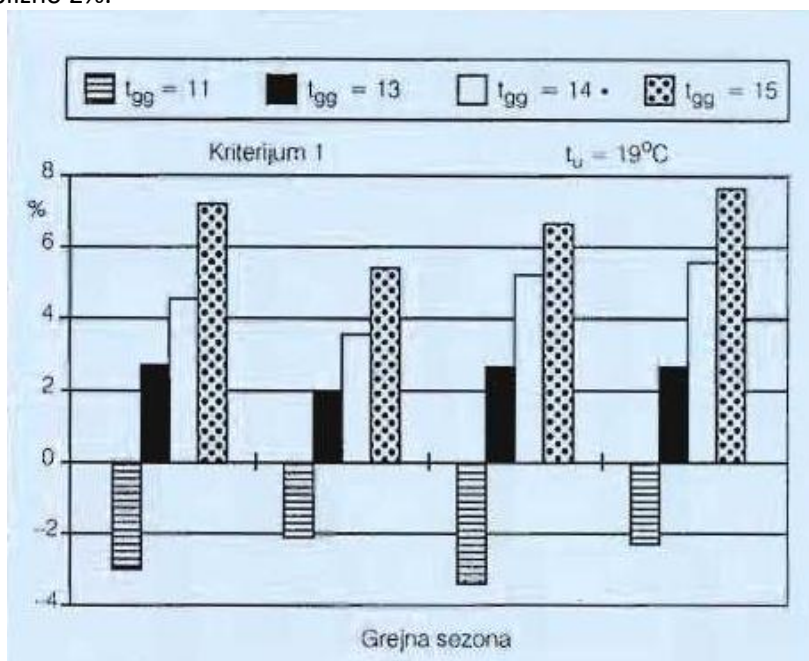
Slika 4. Relativno odstupanje broja SD za Beograd prema različitim kriterijumima u odnosu na kriterijum broj

Većina stanara koji imaju centralno grejanje smatra da sa grejanjem treba početi "nešto" ranije. U njihovim stanovima je najhladnije u prelaznim periodima, najčešće neposredno pred početak grejne sezone. Iskustva

korisnika koji imaju individualne sisteme zagrevanja stanova ukazuju da oni najčešće počinju sa zagrevanjem pre komunalnih distributera toplotne energije, obično kada se srednja spoljna temperatura spusti na oko 14°C. Na izbor adekvatne temperature početka zagrevanja prostorija utiče veliki broj parametara, od kojih su najznačajniji:

- akumulaciona sposobnost zgrade,
- meteorološki faktori osim spoljne temperature (sunčevo zračenje, vetar, vlažnost vazduha),
- eventualni dobici toplote od unutrašnjih izvora toplote,
- navike stanara,
- željeni nivo toplotne ugodnosti korisnika.

Očito je da za dve zgrade optimalna temperatura početka grejanja može biti različita. Razmatran je uticaj temperature granice grejanja t_{gg} na broj stepen-dana. Analiza je vršena za četiri karakteristične grejne sezone u Beogradu i prema svim kriterijumima za izračunavanje broja stepen-dana. S obzirom da su dobijeni rezultati vrlo slični, u radu su prikazani izračunati stepen-dani samo po kriterijumu broj 1 (slika 5). Izračunate vrednosti su upoređene sa "referentnim" brojem SD određenim za graničnu temperaturu od 12°C i te procentualne razlike su prikazane na slici 6. Promena temperature granice grejanja za 1°C dovodi do promene broja stepen-dana za približno 2%.

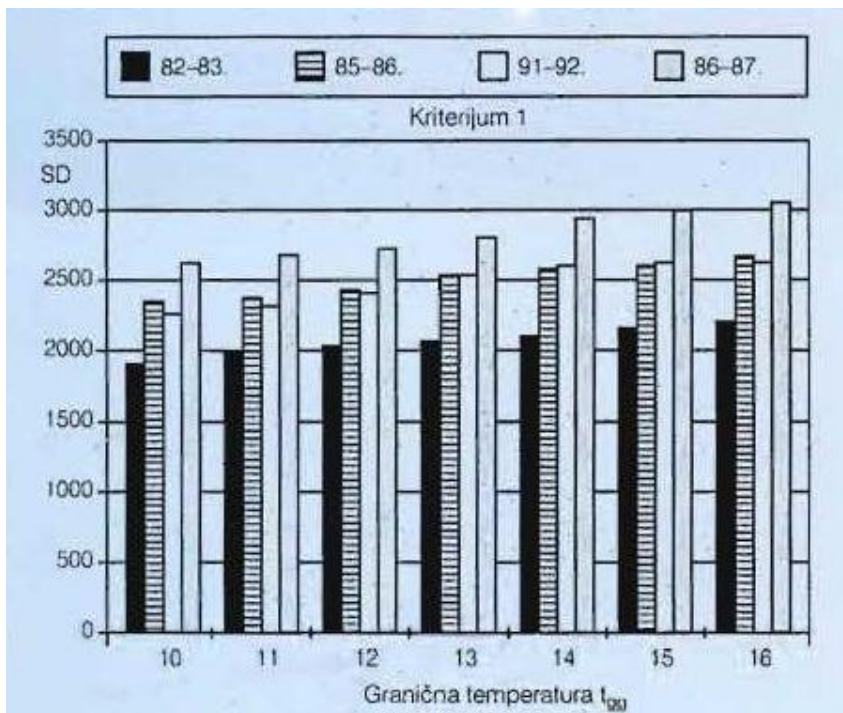


Slika 6. Relativno odstupanje broja SD za Beograd za različite temperature granice grejanja u odnosu na referentnu vrednost $t_{gg} = 12^\circ\text{C}$

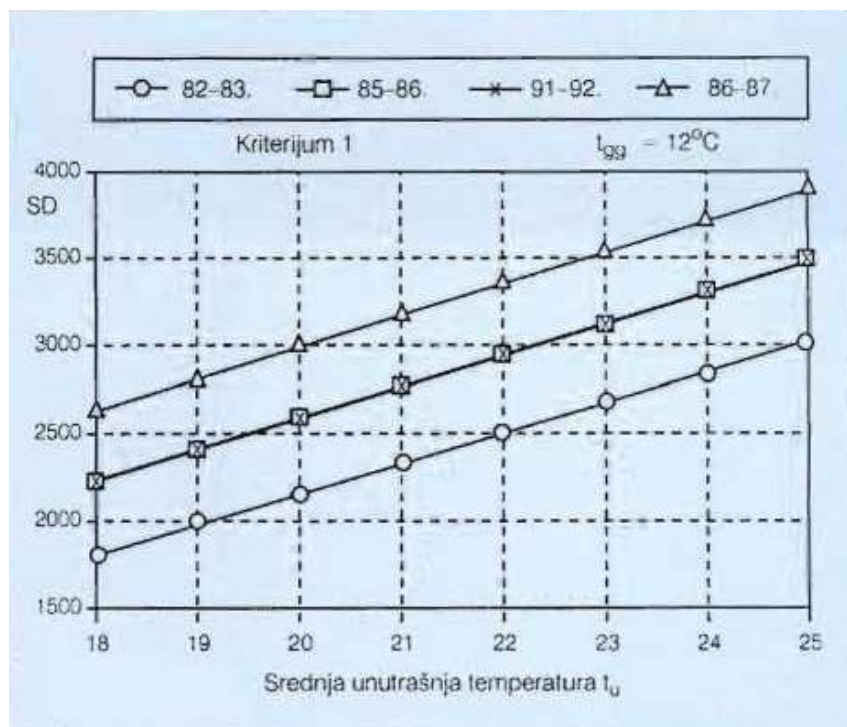
UTICAJ UNUTRAŠNJE TEMPERATURE NA BROJ STEPEN-DANA

Unutrašnja projektna temperatura usvaja se zavisno od namene prostorije i objekta u celini. Za najveći broj prostorija bira se temperatura od 20°C. S obzirom da se sporedne prostorije (hodnici, stepeništa) greju na nešto nižu temperaturu, a obično se samo u kupatilima predviđa temperatura viša od 20°C, procenjeno je da je srednja temperatura u zagrevanoj zgradi najčešće oko 19°C i ta vrednost unutrašnje temperature je usvojena kao referentna pri izračunavanju broja stepen-dana.

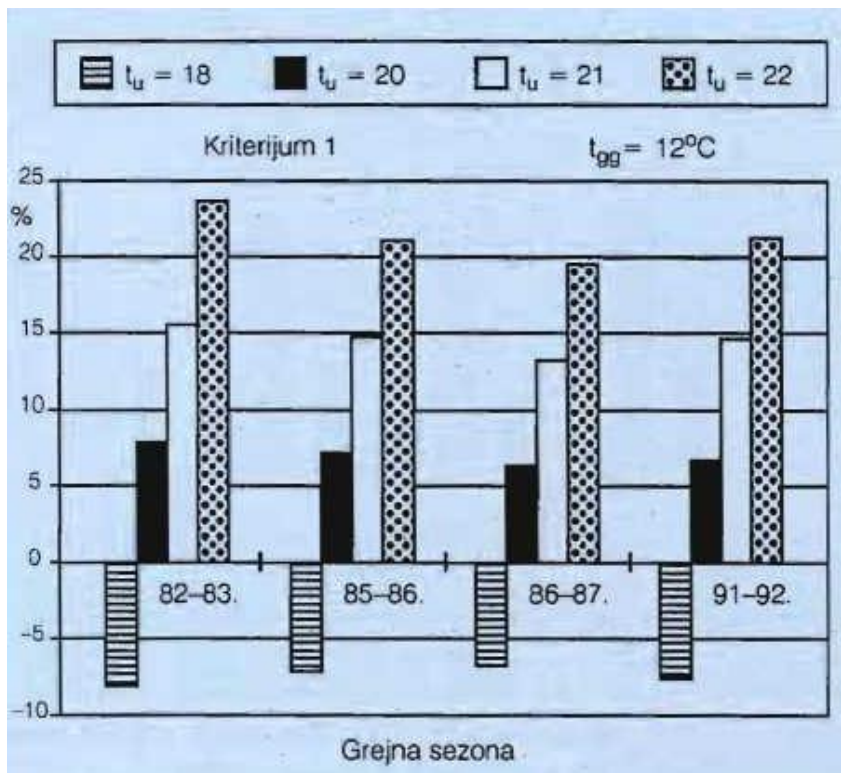
S obzirom da u zavisnosti od namene objekta, srednja temperatura vazduha u zgradi može biti različita od 19°C, analiziran je uticaj unutrašnje temperature na broj stepen-dana. Na slici 7 prikazane su vrednosti broja SD izračunate prema 1. kriterijumu za opseg srednje unutrašnje temperature od 18 do 25°C. Linija promene broja SD ima isti karakter i kada se primeni neki drugi od navedenih kriterijuma. Relativna promena broja stepen-dana za različite vrednosti unutrašnje temperature u odnosu na referentnu vrednost (SD za $t_{gg} = 19^\circ\text{C}$) prikazana je na slici 8. Pri povišenju unutrašnje temperature u objektu za 1°C broj stepen-dana, a proporcionalno njemu i potrošnja energije za grejanje, povećava se za oko 7%.



Slika 5. Broj SD za Beograd u zavisnosti od temperature granice grejanja



Slika 7. Broj SD za Beograd u zavisnosti od srednje unutrašnje temperature



Slika 8. Relativno odstupanje broja SD za Beograd za različite unutrašnje temperature u odnosu na referentnu vrednost $t_{gg} = 19^{\circ}\text{C}$

ZAKLJUČAK

Na osnovu krive promene spoljašnje temperature vazduha moguće je primeniti različite kriterijume za izračunavanje broja stepen-dana. Primenom 6. kriterijuma za proračun broja SD za četiri karakteristične grejne sezone u Beogradu (slike 3 i 4), može se uočiti da izbor kriterijuma ima značajan uticaj na broj stepen-dana (razlike su do 5%).

Izbor kriterijuma za određivanje broja stepen-dana najviše zavisi od toplotnog kapaciteta zgrade. Termoakumulaciona sposobnost većine zgrada na našem području je takva da je period kašnjenja amplitude spoljne temperature preko 24 sata. To znači da bi za beogradske uslove najpovoljniji bili 3. i 4. kriterijum. Za donošenje konačne odluke o izboru optimalnog kriterijuma za izračunavanje broja stepen-dana u grejnoj sezoni, bilo bi potrebno uraditi jednu studiju u kojoj bi se analiziralo dinamičko ponašanje tipičnih zgrada u našem podneblju.

Za povišenje unutrašnje temperature vazduha u objektu za 1°C potrebno je utrošiti približno 7% više toplotne energije (slika 8). Povišenjem temperature početka grejne sezone (granice grejanja) za TC (sa t_{gg} 12°C na 13°C) povećali bi se uslovi ugodnosti u prelaznom periodu uz godišnje povećanje potrošnje energije za grejanje od približno 2% (slika 6).

Spisak oznaka

SD	[$^{\circ}\text{C}$ -dan]	- broj stepen-dana,
t_g	[$^{\circ}\text{C}$]	- srednja temperatura grejnog perioda,
t_{gg}	[$^{\circ}\text{C}$]	- temperatura koja označava početak i kraj grejnog perioda,
t_{sn}	[$^{\circ}\text{C}$]	- srednja dnevna temperatura n-tog dana,
t_u	[$^{\circ}\text{C}$]	- unutrašnja projektna temperatura,
Z	[dan]	- broj dana grejnog perioda.