

Broj stepen-dana za Beograd u periodu od 1979. do 1995. godine

Uvod

Često je potrebno proceniti energetske potrebe i potrošnju goriva u sistemu za grejanje u određenom vremenskom periodu. Zbog uticaja velikog broja različitih faktora, koji variraju tokom vremena, to je složeniji proračun od izračunavanja potrebne količine toplote za grejanje u projektnim uslovima, na osnovu koje se dimenzioniše postrojenje. Teško je predvideti dinamiku promene svih parametara tokom vremena, pogotovo kada postoji njihov međusobni uticaj. Najpouzdaniji pokazatelji o potrošnji energije za grejanje/klimatizaciju u određenom vremenskom periodu dobijaju se na osnovu relevantnih (izmerenih) podataka u periodu eksploatacije postrojenja. Kako ovakvi podaci nisu uvek dostupni ni za postojeće objekte, a za nove i novoprojektovane zgrade svakako nisu raspoloživi, energetske potrebe grejnog objekta određuju se nekom od računskih metoda.

Najpreciznije su detaljne simulacione metode koje računaju časovnu potrošnju energije u posmatranom periodu. Polazni podaci u ovim metodama su časovne vrednosti meteoroloških podataka kao i časovna promena toplotnih opterećenja od unutrašnjih izvora toplote kao što su: osvetljenje, broj ljudi, uređaji i dr. Nedostatak ovih metoda je to što zahtevaju veoma veliki broj ulaznih podataka, koji za novoprojektovane objekte često nisu potpuno definisani.

Manje detaljan metod, ali koji zahteva i manje početnih informacija je bim-metod [1], Bim-metod uzima u obzir promenljiv uticaj više parametara: učestanost pojavljivanja spoljne temperature u određenom intervalu temperatura, režim rada klimatizacionog postrojenja u toku dana, dinamiku promene unutrašnjih izvora toplote i dr.

Među najjednostavnije metode, koje polaze od pretpostavke da se potrošnja energije za grejanje menja samo sa jednim parametrom (spoljnom temperaturom), dok se uticaj ostalih relevantnih parametara uzima u obzir samo preko korekcionih faktora, spada metod stepen-dana. Ovaj metod je posebno pogodan kada su potrebni samo orijentacioni podaci u godišnjoj potrošnji energije u cilju dimenzionisanja skladišta goriva. To je najmanje precizan metod od prethodno navedenih, ali zbog malog broja potrebnih polaznih podataka i svoje jednostavnosti korišćenja nalazi veliku primenu u inženjerskoj praksi.

Metod stepen-dana

Prilikom dimenzionisanja postrojenja za grejanje određuje se računski potrebna količina toplote za grejanje, Q , koja predstavlja zbir gubitaka toplote usled prolaza toplote kroz sve građevinske elemente koji ograničavaju grejanje prostorije uvećane za određeni procenat kojim se obuhvataju nepovoljni uticaji (uticaj zračenja hladnih površina, prekid u zagrevanju i dr.) i gubitaka toplote usled infiltracije spoljnog vazduha. Potrebna količina toplote za grejanje izračunava se za projektne uslove, a to znači za spoljnu projektnu temperaturu i projektnu brzinu vetra.

Kako se spoljna temperatura vazduha retko podudara sa projektnom, a i nepovoljni uticaj vetra, zajedno sa ostalim nepovoljnim uticajima, ne deluje uvek i istovremeno u svim delovima objekta, potrebno je korigovati računsku količinu toplote za grejanje u toku godine. Korekcija se vrši pomoću korekcionih koeficijenata, a godišnja potrošnja energije za grejanje zgrada računa se prema izrazu:

$$Q_g = 86,4 \cdot Q \cdot \frac{SD}{t_u - t_{sp}} \cdot y \cdot e \quad (1)$$

Korekcionni koeficijenti kojima se uzima u obzir uticaj nepovoljnih uslova (vetar, prekid u grejanju i dr.), opšti su podaci, navedeni u stručnoj literaturi, dok se uticaj spoljne temperature određuje za svako mesto preko broja stepen-dana (SD). Broj stepen-dana se izračunava na osnovu analize kretanja temperature vazduha u određenom mestu. Prema tome, pojam stepen-dan je uveden radi ocene klimatskih uticaja na potrebnu količinu toplote za grejanje.

Broj stepen-dana se može izraziti preko zbira razlika unutrašnje temperature i srednjih dnevnih temperatura t_{sn} u toku grejnog perioda:

$$SD = \sum_{n=1}^z (t_u - t_{sn}) \quad (2)$$

i preko razlike unutrašnje temperature i srednje temperature grejnog perioda u toku sezone grejanja Z:

$$SD = Z(t_u - t_g) \quad (3)$$

U praksi se češće primenjuje jednačina (2), jer je za primenu jednačine (3) potrebno znati srednju spoljnu temperaturu u toku grejnog perioda t_g . Ako se zna temperatura koja ograničava početak i kraj sezone grejanja t_{gg} (granična temperatura grejanja) jednačina (2) se može transformisati u sledeći oblik:

$$SD = Z(t_u - t_{gg}) + \sum_{n=1}^z (t_{gg} - t_{sn}) \quad (4)$$

Unutrašnja temperatura u objektu varira od 15 do 22°C, u zavisnosti od namene prostorije. U našim klimatskim prilikama najveći broj objekata ima srednju vrednost temperature svih grejnih prostorija $t_u = 19^\circ\text{C}$. Granična temperatura grejnog perioda t_{gg} razlikuje se od slučaja do slučaja. Najviše zavisi od namene objekta i željenog nivoa ugodnosti korisnika. Za objekte koji se greju iz gradskih toplana, mnoge godine je važio kriterijum da sezona grejanja počinje kada se srednja dnevna temperatura tri uzastopna dana spusti ispod 12°C. Slično tome, grejna sezona se završava kada srednja grejna temperatura u tri uzastopna dana dostigne 12°C. U skladu sa ovim kriterijumom, vrednost stepen-dana za veliki broj gradova u Srbiji izračunata je za graničnu temperaturu od $t_{gg} = 12^\circ\text{C}$,

Broj stepen-dana za Beograd

I u ovom radu su, pri određivanju stepen-dana, korišćene iste vrednosti granične temperature grejnog perioda i srednje temperature svih prostorija. Zamenom navedenih vrednosti temperatura, izraz (4) dobija sledeći oblik:

Izračunavanje stepen-dana može se vršiti preko izraza (5), poštujući kriterijum o početku i kraju grejne sezone.

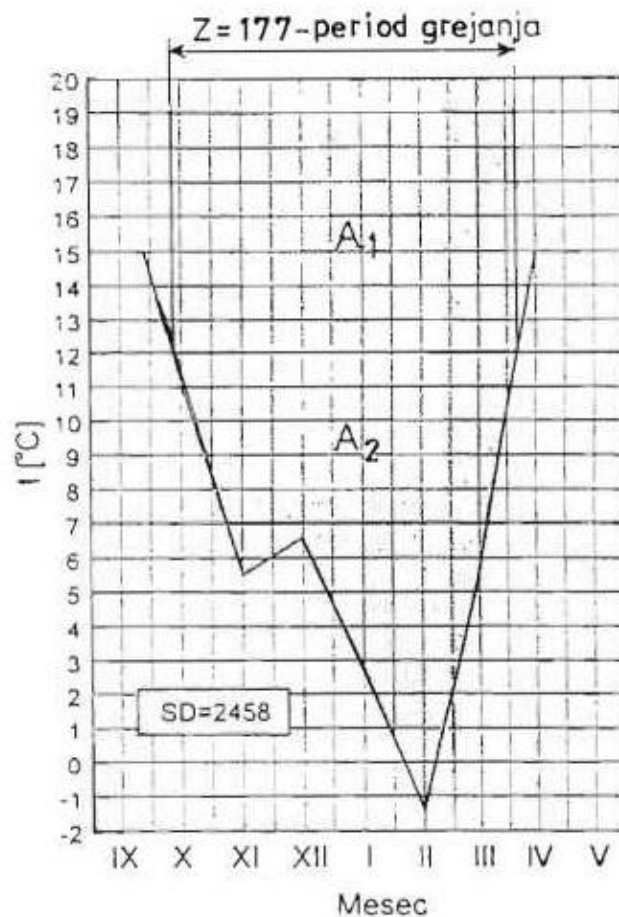
$$SD = Z(19 - 12) + \sum_{n=1}^z (12 - t_{sn}) \quad (5)$$

Drugi način je grafičkim putem, na osnovu srednjih mesečnih temperatura.

Primer za izračunavanje broja stepen-dana u grejnoj sezoni 1985—86. za Beograd prikazan je na slici 1. Spajanjem srednjih mesečnih temperatura dobija se izlomljena linija, koja u proseku sa izotermom granične temperature grejanja ($t_{gg} = 12^\circ\text{C}$) daje tačke (odnosno dane) početka i kraja grejne sezone. Rastojanje između ove dve tačke predstavlja broj dana grejnog perioda Z. Prvi član jednačine (5) odgovara površini pravougaonika A_1 oivičenog izotermama ($t_{gg} = 12^\circ\text{C}$ i $t_u = 19^\circ\text{C}$) i vertikalama kroz prvi i poslednji dan sezone grejanja, a drugi član površinu koju ograničava izoterma granične temperature grejanja i izlomljena linija promene spoljne temperature A_2 . Zbir ove dve površine predstavlja broj stepen-dana.

Prema navodima u literaturi, dosada korišćen prosečan broj stepen-dana za Beograd određen je na osnovu meteoroloških podataka u periodu od 1925. do 1940. i 1949. do 1968. godine [3], Na osnovu podataka o temperaturama vazduha u Beogradu u tom periodu nađeno je da je srednji broj stepen-

dana 2520, broj dana grejnog perioda $Z = 175$, a određena je i srednja temperatura grejnog perioda $t_g = 4,6^\circ\text{C}$. U literaturi [3] nisu date vrednosti stepen-dana po godinama, već samo srednja vrednost za posmatrani vremenski period. Takođe je navedeno, da ako se analizira samo period od 1949. do 1968. godine, prosečan broj stepen-dana za Beograd iznosi $SD = 2489$, a da je veća usvojena vrednost ($SD = 2520$) posledica hladnijih zima u periodu od 1925. do 1940. godine. Podaci o broju stepen-dana za Beograd u periodu od 1966. do 1981. godine mogu se naći u literaturi [4], S obzirom na relativno čestu potrebu procene godišnje potrošnje energije u grejanom objektu, izvršeno je određivanje broja stepen-dana (kao polaznog podatka u metodu stepen-dana) za Beograd za poslednjih 17 godina. Za razliku od svih dosadašnjih podataka o broju stepen-dana koji su određivani isključivo za kalendarsku godinu, u ovde su prikazani izračunati stepen-dani i za grejnu sezonu i za kalendareku godinu. Na slici 2 je grafički prikaz stepen-dana za Beograd za kalendareku 1986. godinu.



Slika 1. Grafički prikaz stepen-dana za Beograd za grejnu sezonu 1985-86.

Tabela 1. Broj stepen-dana za grejnu sezonu u Beogradu

Grejna sezona	SD	Z	t_g	ASD	ASDr
	$^\circ\text{C}\cdot\text{dan}$	dan	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}\cdot\text{dan}$	%
1978-79.	2540	187	5,4	90	3,7
1979-80.	2687	202	5,7	237	9,7
1980-81.	2506	179	5,0	56	2,3
1981-82.	2660	182	4,4	210	8,6
1982-83.	2041	159	6,2	-409	-16,7
1983-84.	2698	188	4,6	248	10,1
1984-85.	2720	268	2,8	270	11,0

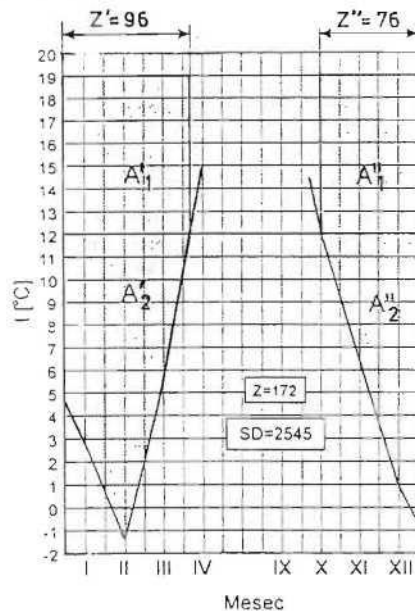
1985-86.	2458	177	5,	8	0,3
1986-87.	2801	181	3,5	351	14,3
1987-88.	2234	179	65	-216	-8,8
1988-89.	2327	162	4,6	-123	-5,0
1989-90.	2137	172	6,6	-313	-12,8
1990-91.	2409	180	5,5	-41	-1,7
1991-92.	2447	179	5,3	-3	-0,1
1992-93.	2526	171	4,2	76	3,1
1993 - 94.	2125	163	6,0	-325	-13,3
1994-95.	2310	182	6,3	-140	-5,7

Tabela 2. Broj stepen-dana za kalendarsku godinu

Godina	SD	Z	's	SSD	SSDr
—	°C-dan	dana	°C	°C-dan	%
1979.	2369	189	6,5	-81	-3,3
1980.	2759	193	4,7	309	12,6
1981.	2442	177	5,2	-8	-0,3
1982.	2553	182	5,0	103	4,2
1983.	2299	167	5,2	-151	-6,2
1984.	2545	178	4,7	95	3,9
1985.	2743	182	3,9	293	12,0
1986.	2545	172	4,2	95	3,9
1987.	2596	175	4,2	146	6,0
1988.	2533	185	5,3	83	3,4
1989.	2139	159	5,5	-311	-12,7
1990.	2026	164	6,6	-424	-17,3
1991.	2646	193	5,3	196	8,0
1992.	2272	171	5,7	-178	-7,3
1993.	2564	172	4,1	114	4,7
1994.	2165	173	65	-285	-11,6
1995.	2352	175	5,6	-98	-4,0

Desni deo dijagrama na slici 1 i levi deo dijagrama na slici 2 su identični, dok se levi deo dijagrama na slici 1 i desni deo na slici 2 razlikuju, pošto se radi o različitim periodima.

Vrednosti za stepen-dane, broj dana grejnog perioda i srednju temperaturu grejnog perioda za analizirani period navedene su u tabelama 1 i 2. U njima su i apsolutna i relativna odstupanja broja stepen-dana u svakoj posmatranoj godini u odnosu na srednju vrednost u tom intervalu.



Slika 2. Grafički prikaz stepen-dana za Beograd za 1986. godinu

Broj stepen-dana za Beograd razlikuje se od godine do godine. U analiziranom periodu od 17 godina, maksimalno odstupanje godišnje vrednosti broja stepen-dana u odnosu na srednju vrednost iznosilo je 17%.

Zaključak

Srednja vrednost broja stepen-dana za poslednjih 17 godina je $SD = 2450$. Broj dana grejnog perioda je $Z = 177$, a srednja temperatura grejnog perioda ima vrednost $t_g = 5,2^\circ\text{C}$. U odnosu na dosada korišćenu vrednost za stepen-dane u Beogradu od 2520, nova vrednost je za 2,8% manja. U istom periodu vremena broj dana grejne sezone se vrlo malo promenio. Porastao je sa 175 na 177, dok je srednja temperatura grejnog perioda porasla sa dosadašnjih $4,6^\circ\text{C}$ na $5,2^\circ\text{C}$.

Imajući u vidu fizičko značenje broja stepen-dana (dužim i hladnijim zimama odgovaraju veće vrednosti broja stepen-dana), smanjenje broja stepen-dana navodi na zaključak da je došlo do promene klime u Beogradu u smislu povišenja dnevnih temperatura u zimskom periodu, tj. zime su postale blaže. To se direktno može videti iz povišenja srednje temperature grejnog perioda.

Smanjenje vrednosti stepen-dana od 2,8% je na izgled malo, međutim imajući u vidu ukupnu količinu energije koja se godišnje utroši za grejanje u Beogradu, ovo smanjenje, nastalo kao posledica blage promene klime, omogućava značajne uštede energije za grejanje.

Spisak oznaka

e	[-]	- ukupni koeficijent ograničenja (e = eteb)
et	[-]	- koeficijent temperaturskog ograničenja
eb	[-]	- koeficijent eksploatacionog ograničenja
Q	[W]	- potrebna količina toplote za grejanje
Qg	[kWh]	- potrebna količina toplote za grejanje u grejnoj sezoni
SD	[°C-dan]	- broj stepen-dana
t _g	[°C]	- srednja temperatura grejnog perioda
t _{gg}	[°C]	- temperatura koja označava i kraj grejnog perioda
t _{sn}	[°C]	- srednja dnevna temperatura n-tog dana
t _{sp}	[°C]	- spoljna projektna temperatura
t _u	[°C]	- unutrašnja projektna temperatura
y	[-]	- koeficijent jednovremenosti delovanja posebno nepovoljnih uticaja

z	[dan]	- broj dana grejnog perioda
ASD	[°C-dan]	- apsolutno odstupanje broja stepen- -dana od srednje vrednosti
ASDr	[%]	- relativna vrednost odstupanja broja stepen-dana od srednje vrednosti.