

Dobici toplote od sunčevog zračenja kroz staklene površine

Klimatizacija Grejanje Hlađenje broj 2/1977.

Aleksandar Janković

U klimatizovanim zgradama sa slobodnim fasadama, procentualno najveći udeo u dobicima toplote imaju toplotna opterećenja od sunca, kroz staklene površine. Ovom delu toplote koji ulazi u prostoriju treba posvetiti posebnu pažnju i nastojati da se na svaki način spreči direktno zračenje sunca na staklene površine. U slučajevima kada je to nemoguće, postoje načini da se taj deo direktnog sunčevog zračenja umanj.

SUNČEVO ZRAČENJE

Sunce kao toplotni izvor emituje energiju kao crno telo sa površinskom temperaturom od 6 000°C u spektru talasnih dužina od 0,29 do 4,75 μm . Najveći deo energije emituje se u oblasti vizuelne sunčeve svetlosti i infracrvenom području a mali deo se emituje u ultravioletnom području. Izvan zemljine atmosfere direktno sunčevo zračenje je sastavljeno od 52% vizuelnog, 43% infracrvenog i 5% ultravioletnog zračenja. Na zemljinoj površini ovaj sastav je drugačiji: 39% vidljiva svetlost, 60% infracrveno zračenje i 1% ultravioletno zračenje. Iz ovoga se može zaključiti da se prilikom prolaska sunčevih zraka kroz atmosferu dešava veliki deo selektivne apsorpcije.

Totalni intenzitet sunčevog zračenja na gornjoj granici zemljine atmosfere iznosi 1.362 W/m^2 na površini koja je normalna na putanju sunčevih zraka. Ova cifra predstavlja srednju vrednost, pošto je Zemlja nešto malo bliža Suncu (oko 3%) u januaru nego u julu (zemljina orbita je

eliptična). Samo 1 025 W/m^2 dospeva na zemljinoj površini kada je Sunce vertikalno u zenitu i kada je bistro nebo. Od ove cifre 945 W/m^2 je udeo direktnog zračenja a ostatak je difuzno zračenje atmosfere.

Definicije

Postoji nekoliko osnovnih veličina koje se koriste u analizama toplotnih dobitaka od direktnog sunčevog zračenja.

1. Ugao visine sunca (h) je ugao koji direktni sunčevi zraci grade sa horizontalnom površinom na određenom mestu na zemljinoj površini. Ugao visine sunca menja se sa promenom geografske širine, promenom vremena u toku dana i godine.

2. Azimut sunca (z) je ugao između horizontalne komponente direktnog sunčevog zraka i pravca severa.

3. Azimut zida (n) je ugao između horizontalne komponente direktnog sunčevog zraka i normale na odgovarajući zid.

4. Deklinacija je ugaona pomeranost sunca od zemljinog ekvatora. Zemljina osa je nagnuta za 23,5° od ose obrtanja oko Sunca. Veličina ugla deklinacije menjaće se u toku godine od + 23,5° do — 23,5°.

5. Geografska širina nekog mesta na zemljinoj površini je ugaona pomeranost iznad ili ispod ravni ekvatora, merena od centra zemljine lopte. Geografska širina Beograda iznosi 44° 47' severno od ekvatora, i 20° 21' istočno od Griniča.

Intenzitet direktnog sunčevog zračenja

Ako se sa I označi intenzitet direktnog sunčevog zračenja na površinu koja je normalna na

sunčev zrak, i znajući ugao visine sunca u datom momentu kao i ugao azimuta zida, mogu se izračunati horizontalna i vertikalna komponenta.

Komponenta direktnog sunčevog zračenja normalna na horizontalnu površinu:

$$I_h = I \cdot \sin h$$

Komponenta direktnog sunčevog zračenja normalna na vertikalnu površinu:

$$I_v = I \cos h \cos n$$

Transmisija sunčevog zračenja kroz staklo

Od ukupne energije sunčevog zračenja koja pada na staklo, deo energije se odbija i gubi, jedan deo se prenosi kroz staklo u prostoriju (transmisija) a deo energije se apsorbuje u staklu.

Deo apsorbovane energije utiče na porast temperature stakla i staklo konačno ovu toplotu oda konvekcijom i zračenjem delom u prostoriju, delom napolje.

Za uglove upada sunčevih zraka na staklenu površinu između 60° i 0°, obično jednostruko staklo propušta oko 85% sunčeve energije koja pada na staklo. Oko 6% je apsorbovano a ostatak od 9% je reflektovan.

Za dvostruko zastakljene prozore, 76% sunčeve energije prenosi se kroz prozor u prostoriju. Količina sunčeve energije koja je apsorbovana u staklu pri prolazu direktnih sunčevih zraka kroz staklo, uglavnom zavisi od apsorpcionih karakteristika stakla. Obično prozorsko staklo nema veliki koeficijent apsorpcije, ali specijalna apsorpciona

stakla apsorbiraju veliki deo toplote. Apsorbovana toplota izaziva povišenje temperature stakla i tada toplota teče zračenjem i konvekcijom na obe strane. Na spoljnoj i unutrašnjoj strani stakla prenošenje toplote zavisi prvenstveno od koeficijenata prelaza toplote, pa se zračenje može zanemariti.

Ako se usvoje temperatura vazduha u prostoriji t_u i temperatura spoljnog vazduha t_s (za određeno doba dana), može se postaviti jednačina toplotne ravnoteže a otuda se izračunava srednja temperatura stakla (t_u).

I = totalna sunčeva energija kojoj je izloženo staklo (direktno i difuzno);

α = koeficijent konvekcije.

Apsorbovana energija u staklu prenosi se konvekcijom na obe strane i jednačina ravnoteže glasi:

$$\alpha I = \alpha_s(t_s - t_u) + \alpha_u(t_s - t_u)$$

a odatle se može izračunati temperatura stakla:

$$t_x = \frac{\alpha I + \alpha_s + \alpha_u}{\alpha_s + \alpha_u} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ukupan dobitak toplote u prostoriji dobija se kao zbir dela toplote koji prodire direktno kroz staklo i dela toplote koji se prenosi konvekcijom sa stakla u prostoriju.

$$\tau I + \alpha_u(t_x - t_u)$$

$$\tau I = \frac{\alpha_u \alpha I + \alpha_s^2 t_u + \alpha_s \alpha_u t_s}{\alpha_s + \alpha_u} - \alpha_u t_u$$

$$\tau I = \frac{\alpha \alpha I}{\alpha_s + \alpha_u} + \frac{\alpha_s \alpha_u}{\alpha_s + \alpha_u} (t_s - t_u)$$

$$\left(\tau + \frac{\alpha_u}{\alpha_s + \alpha_u} \right) I + K(t_s - t_u)$$

Koeficijent prolaza toplote kroz staklo

$$K = \frac{I}{R_s + R_{\text{staklo}} - R_u} =$$

$$= \frac{I}{I / \alpha_s + I / \alpha_u} =$$

$$k = \frac{\alpha_s \alpha_u}{\alpha_s + \alpha_u}$$

Izraz (A) predstavlja ukupni dobitak toplote kroz staklo.

Tabela 1.

Staklo ili zastor	Koefic. apsorpcije a	Koef. refleks. r	Koef. transn. τ
4 mm providno	0,08	0,08	0,84
6 mm staklo obično	0,14	0,08	0,80
6 mm staklo apsorpciono	0,40	0,06	0,54
6 mm staklo prekriveno srebrnom folijom	0,45	0,41	0,14
Svetlo obojene žaluzine postavljene pod uglom od 45°	0,37	0,51	0,12

Prvi deo izraza obično je izračunat i dat tabelarno za različite geografske širine, doba dana i godine. Drugi deo $k(t_s - t_u)$ mora se dodati ovim tabelarnim vrednostima.

Količina toplote koja prodire kroz staklo u vidu dobitaka toplote zavisi od osobina stakla (prvenstveno koeficijenta transmisije) kao i od zaštićenosti staklene površine spolja ili iznutra.

Tabela 1 daje prosečne vrednosti koeficijenata a , r , τ za razne vrste stakla.

Unutrašnji zastori

Uticaj unutrašnjih žaluzina na smanjenje dobitaka toplote od sunca je značajan, ali ne tako veliki kao kod primene spoljnih žaluzina. U tropskim i subtropskim klimatskim regionima, spoljašnja zasenčenja se koriste redovno dok je u oblastima umerene klime, vreme u zimskom periodu veoma nepovoljno za održavanje spoljnih žaluzina.

U ovom radu će se razmatrati samo uticaj unutrašnjih zastora na smanjenje dobitaka toplote od sunčevog zračenja, s obzirom da spoljne žaluzine skoro u potpunosti sprečavaju prodor direktnog sunčevog zračenja.

Da bi unutrašnje žaluzine (venecijaneri) bile svrsishodne, potrebno je da budu bele ili obojeno svetlo. One moraju biti podešene tako da reflektuju sunčeve zrake. Pod ovakvim uslovima samo 53% od direktnog i difuznog sunčevog zračenja se prenosi u prostoriju. Same žaluzine se zagrevaju i postaju izvor dobitaka toplote zračenjem i konvekcijom toplote ka prostoriji. Najveći efekat zaštite od sunčevog zračenja postiže se postavljanjem žaluzina kod dvostrukog zastakljenja između dva stakla. Iz tabele 2 može se videti da dvo-

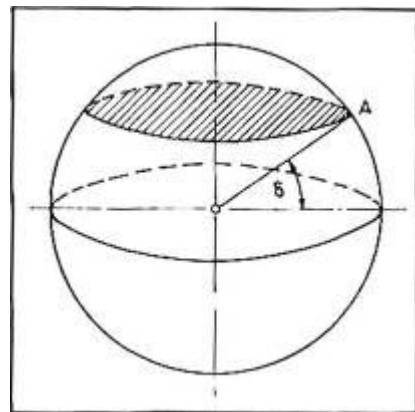
struko zastakljenje smanjuje transmisiju sunčevog zračenja u odnosu na jednostruko staklo za samo 15%.

Oдавде sledi da za područja sa blagim zimama (kada se govori samo o klimatizaciji u letnjem periodu) uštede u investicionim i eksploatacionim troškovima jednog postrojenja za klimatizaciju nisu dovoljne da kompenzuju ekstra troškove dvostrukog zastakljenja. Glavna prednost dvostrukog zastakljenja je u smanjenju prenošenja buke, kao i u mogućnosti održavanja veće relativne vlažnosti u prostoriji u zimskom periodu. Ovo zbog toga što je temperatura unutrašnjeg stakla kod dvostrukog zastakljenja viša nego kod jednostrukog zastakljenja — čime se omogućava održavanje više temperature tačke rose sobnog vazduha.

Napomene uz tabelu 2

1. Unutrašnje žaluzine (venecijaneri) usvojene su kao svetlo obojene i nagnute pod uglom od 45°, pri sunčevom zračenju koje pada pod uglom od 30° na staklo. Koeficijent refleksije žaluzina $r = 0,51$, koef. transmisije $\tau = 0,12$; koef. apsorpcije $a = 0,37$.

Sl. 1



$$t_{x2} = 31,4^{\circ}\text{C}$$

$$t_v = \frac{t_{x1} + t_{x2}}{2}$$

$$t_v = 38,3^{\circ}\text{C}$$

7. Dvostruko zastakljenje sa žaluzinama između dva okna

Prozorsko okno 1

$$t_{x1} = \frac{53,2 + 20 \times 33 + 5,26 t_{v1}}{20 + 5,26} = 28,4 + 0,208 t_{v1}$$

$$t_z = \frac{155,8 + 5,26 t_{v1} + 5,26 t_{v2}}{5,26 + 5,26} = 14,8 + 0,51 t_{v1} + 0,5 t_{v2}$$

$$t_{x2} = \frac{3,1 + 5,26 t_{v2} + 7 \times 24}{5,26 + 7} = 13,95 + 0,429 t_{v2}$$

$$t_{v1} = \frac{t_{x1} + t_z}{2} \quad 2 t_{v1} = 43,2 + 0,708 t_{v1} + 0,5 t_{v2} \quad t_{v1} = 53,5^{\circ}\text{C}$$

$$t_{v2} = \frac{t_{x2} + t_z}{2} \quad 2 t_{v2} = 28,75 + 0,5 t_{v1} + 0,929 t_{v2} \quad t_{v2} = 51,8^{\circ}\text{C}$$

$$t_{x1} = 39,5^{\circ}\text{C}$$

$$t_{x2} = 36,2^{\circ}\text{C}$$

$$t_z = 67,4^{\circ}\text{C}$$

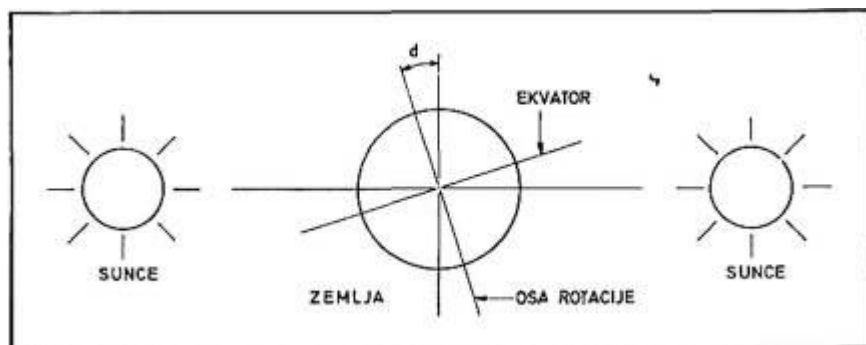
Ukupni dobitak toplote u prostoriji:

$$45,3 + 7 (36,2 - 24) = 130,7 \text{ kcal/hm}^2$$

Dobitak toplote [kcal/hm²]

1 Jednostruko obično staklo	559	100%
2 Dvostruko obično staklo	480,2	85,9%
3 Jednostruko apsorbujuće staklo	385,3	68,9%
4 Dvostruko apsorbujuće staklo obično	283,2	50,6%
5 Jednostruko reflektujuće	202,5	36,2%
6 Jednostruko sa unutrašnjim žaluzinama	191,6	34,3%
7 Dvostruko staklo sa žaluzinama između dva okna	130,7	23,4%

SI. 2. Geografska širina tačke A na zemljinoj površini meri se uglom δ



Faktori koji utiču na dobitke toplote od sunca

Postoji nekoliko faktora koji se moraju uzeti u obzir prilikom proračuna trenutnog toplotnog opterećenja od sunčevog zračenja, a to su:

1. zamućenost atmosfere,
2. tip prozorskog rama,
3. nadmorska visina mesta,
4. varijacije temperature tačke rose.

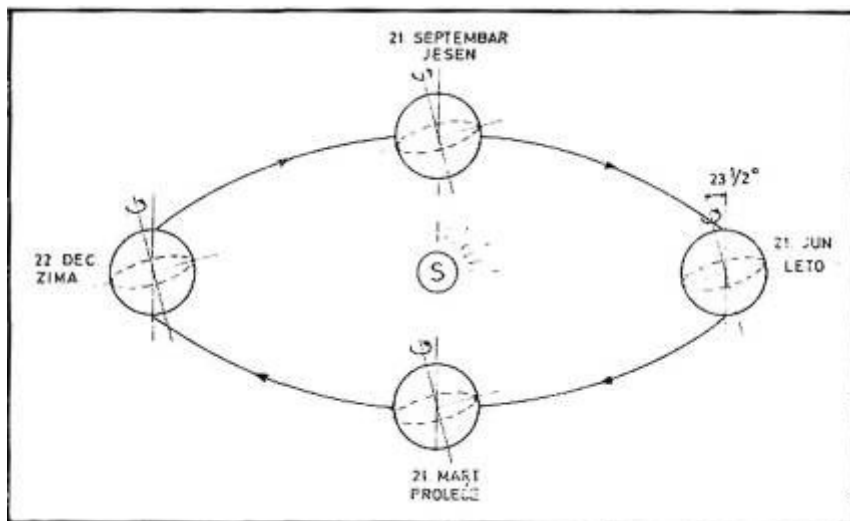
Zamućenost atmosfere najviše je izražena u inidustrijskim regionima i posledica je kontaminacije okoline izduvnim gasovima i česticama. Intenzitet direktnog sunčevog zračenja na površini koja je normalna na sunčeve zrake može da se smanji i do 15% pri prolazu kroz ovakvu atmosferu. Za graidsku atmosferu može se primeniti faktor 0,95 (prema američkoj literaturi).

Tip prozorskog rama. U tabelama za dobitke toplote kroz prozore obično su kao etalon uzeti prozori sa drvenim ramom. Međutim, današnja tendeneija u visokoj gradnji je da se sve više primenjuju prozori sa metalnim ramovima. S obzirom da je čelik mnogo bolji provodnik toplote od drveta, dobici toplote se povećavaju za oko 17%.

U praksi se ovaj uticaj uzima u obzir tako što se tablične vrednosti za dobitke toplote za prozore sa metalnim ramom primene na građevinski otvor u zidu a kod prozora sa drvenim ramom na staklenu površinu.

Nadmorska visina mesta. Činjenica da je intenzitet zračenja na površini koja je normalna na sunčeve zrake na graničnoj ravni atmosfere oko 1.362 w/m³ a samo 950 w/m³ na površini zemlje, govori o smanjenju intenziteta zračenja za oko 30% kada je sunce u zenitu (tada se dobija minimalna dužina putanje tj. jedinična »vazдушna masa«). Najveći deo smanjenja intenziteta zračenja dešava se u sloju atmosfere od 3.000 m iznad zemljine površine. Redukcija u intenzitetu zračenja vezana je za »vazдушnu masu« ali je zavisna i od ugla visine sunca pošto on uslovljava dužinu putanje sunčevog zraka.

Eksperimentalna ispitivanja pokazuju da za nadmonske visine od 0 do 3 000 m, maksimalni in-



Sl. 3.

Toplotno opterećenje klimatizacionog postrojenja usled dobijanja toplote kroz staklo

Sunčevo zračenje kroz prozorsko staklo ne predstavlja trenutno opterećenje u klimatizacionom sistemu jer je

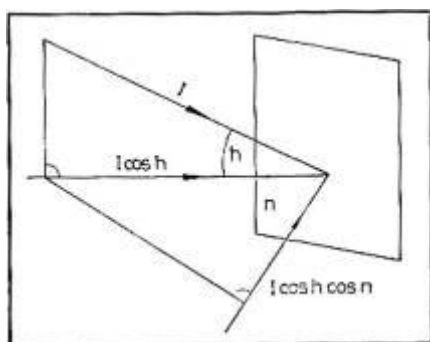
a) vazduh transparentan prema ovoj vrsti zračenja i

b) pošto je promena opterećenja u klimatizacionom sistemu dirigovana promenom temperature vazduha u prostoriji.

Da bi se povisila temperatura vazduha u prostoriji, sunčevo zračenje kroz prozore se prvo apsorbuje na čvrstim površinama unutar prostorije (pod, nameštaj, zidovi). Ove površine su tada u poziciji da oslobađaju deo toplote konvekciom ka okolnom vazduhu, a deo energije se akumulira u samim materijalima (podovi, nameštaj).

Slika 6 pokazuje da se sva primljena količina toplote kroz prozor konačno ponovo predaje prostoriji.

Maksimalno opterećenje sistema klimatizacije je manje od trenutnog toplotnog dobijanja od sunca. Moderne građevine imaju



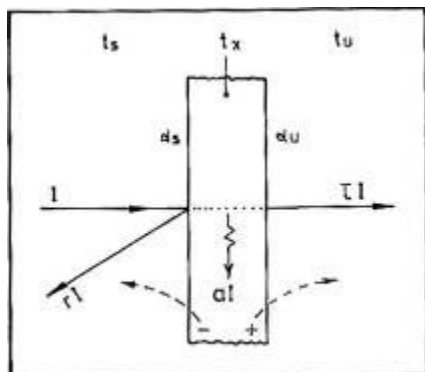
Sl. 4.

znači promenu u sadržaju vlage odnosno promenu apsorpcionog kapaciteta vlažnog vazduha.

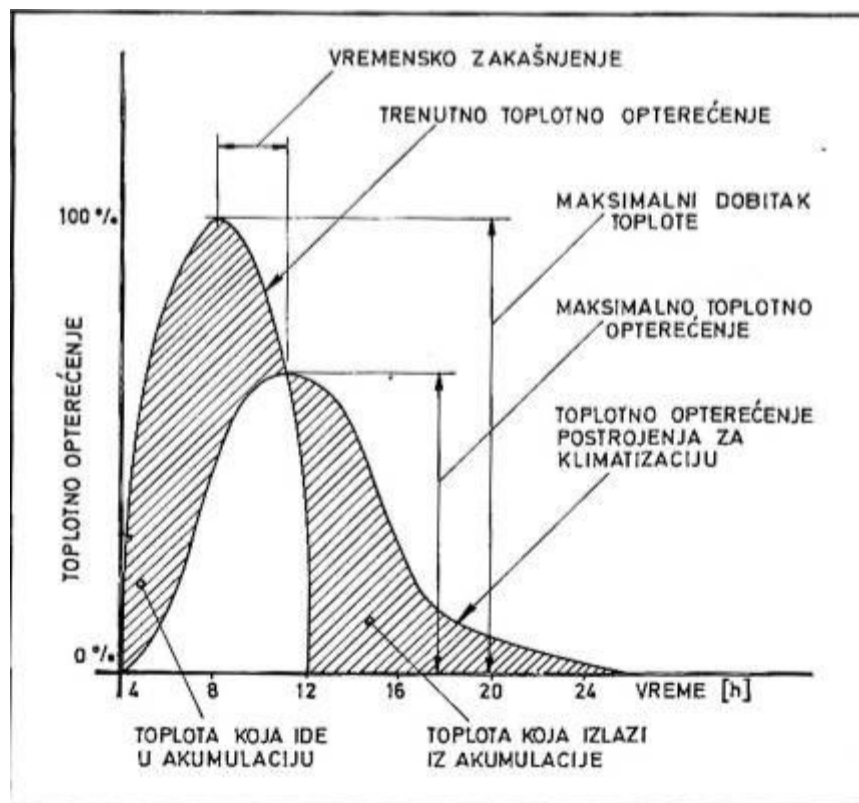
Temperatura tačke rose menja se isto tako i na zemljinoj površini za mesta sa istom nadmorskom visinom. Neki autori predlažu povećanje intenziteta direktnog zračenja za 7%, za svakih 5°C smanjenja temperatura tačke rose.

tenzitet direktnog zračenja na površinu normalnu na sunčeve zrake varira od 590 W/m^2 - do 1117 W/m^2 . Ovo znači da se prosečan porast od 3% u intenzitetu zračenja dešava za svakih 300 m porasta nadmorske visine. Kako se intenzitet direktnog sunčevog zračenja povećava sa nadmorskom visinom, intenzitet difuznog zračenja opada.

Varijacije temperature tačke rose. Tačka rose vazduha opada sa porastom nadmorske visine. Promena temperature tačke rose



Sl. 5.



Sl. 6.