

Proračun toplotnog opterećenja od sunčanog zračenja kroz stakleni krov

COMPUTING COOLING LOADS FROM
SOLAR RAYS THROUGH A GLASS ROOF

Ljubomir Janković,
dipl. Ing. I Branislav
Živković, dipl. Ing.
Mašinskog Fakulteta u
Beogradu, 27. marta 80

U radu je prikazan matematički model određivanja toplotnog opterećenja od sunčanog zračenja kroz velike staklene površine zaštićene sa unutrašnje strane zastorima, pri čemu se kroz prozor između staklenog krova i zastora iz prostorije izvlači vazduh, najčešće otpadni.

Pored postupka uopšte, prikazan je i jedan rešeni primer.

This paper gives a mathematical model for determining the cooling load from rays through a large glass surface, protected on the inside by shades, with air — chiefly waste air — being ventilated through the space between the glass roof and the shades.

One example of a solution is also given.

UVOD

U savremenom građevinarstvu se sve češće primenjuju takva rešenja koja građevinu čine lošom u energetskom smislu. Ovo se pre svega odnosi na građevine sa velikim staklenim površinama. Da bi se smanjila količina energije potrebne za klimatizaciju i da bi se izbegle nekorisne investicije zbog predimenzionisanja postrojenja, velike staklene površine se moraju rešavati sa posebnom pažnjom, kao specifični delovi sistema koji se klimatizuju.

U ovom radu će biti prikazan način određivanja toplotnih dobitaka i toplotnog opterećenja prostorije koja ima veliki stakleni krov. Sa unutrašnje strane krova postavljen je zastor paralelan krovu, a između stakla i zastora struji vazduh (slika 1). Na početku su date jednačine toplotnog bilansa za krov zaštićen na pomenuti način. Zatim, kroz primer jednog proračuna, izveden je zaključak o efektima ovakve zaštite. Razmotrene su mogućnosti eventualnog poboljšanja rezultata koji se postižu ovakvom zaštitom.

Jednačina (1) izražava jednakost između toplote koju primi vazduh u »sendviču« (Q_4) i toplote koju konvekcijom predaju staklo (Q_1) i zastor (Q_2) vazduhu koji struji između njih.

Toplota koju tokom strujanja kroz »sendvič« primi vazduh iznosi:

$$Q_v = p_v c_{pv} V_v (t_{v2\tau} - t_{v1\tau}) \quad [W] \quad (4)$$

gde je:

$p_v [kg/m^3]$ — gustina vazduha,

$c_{pv} [J/kgK]$ — specifična toplota vazduha,

$V_v [m^3/s]$ — zapreminski protok vazduha,

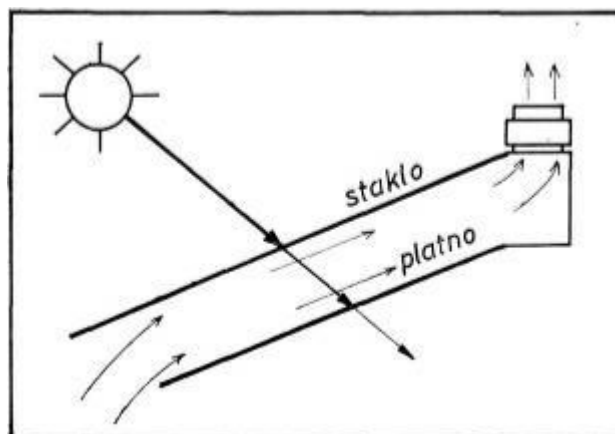
$t_{v1\tau} [^\circ C]$ — temperatura vazduha na ulazu u »sendvič« u trenutku τ ,

$t_{v2\tau} [^\circ C]$ — temperatura vazduha na izlazu iz »sendviča« u trenutku τ .

Protok vazduha određen je izrazom:

$$V_v = d\dot{w} \quad (5)$$

Sl. 1. Izgled sendviča staklo-vazduh-platno



JEDNACINA TOPLOTNOG BILANSA

Stakleni krov zaštićen unutrašnjim zastorima i ispiran vazduhom predstavlja jedan specifičan razmenjivač toplote. Analiza toplotnih pojava u ovom razmenjivaču dovodi do jednačina toplotnog bilansa (slika 2):

$$Q_v = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

$$Q_{AS} = Q_3 + Q_4 + Q_5 - Q_6 + Q_7 \quad (2)$$

$$Q_{AP} = Q_2 + Q_8 - Q_7 + Q_9 \quad (3)$$

gde je:

$d[m]$ — rastojanje između stakla i zastora,
 $l[m]$ — širina »sendviča«,
 $w[m/s]$ — brzina vazduha.

Toplota koju staklo predaje vazduhu u »sendviču« konvekcijom je:

$$Q_1 = a_s F_{sh} (t_{st} - t_{vmt}) \quad [W] \quad (6)$$

gde je:

$a_s [W/m^2K]$ — koeficijent prelaza toplote sa stakla na vazduh,
 $F_{sh} [m^2]$ — površina hlađenja stakla (zavisí od konstrukcionog rešenja zastora),
 $t_{st} [^\circ C]$ — temperatura stakla u trenutku τ ,
 $t_{vmt} [^\circ C]$ — srednja temperatura vazduha u »sendviču« u trenutku τ .

S obzirom da se temperature vazduha na ulazu iz »sendviča« razlikuju svega za nekoliko stepeni, srednja temperatura vazduha može se računati kao aritmetička sredina temperatura na ulazu i izlazu:

$$t_{vmt} = \frac{t_{v1\tau} + t_{v2\tau}}{2} \quad (7)$$

Toplota koju zastor predaje vazduhu u »sendviču« konvekcijom je:

$$Q_2 = \alpha_p F_{ph} (t_{pr} - t_{vmt}) \quad [W] \quad (8)$$

gde je:

$\alpha_p [W/m^2K]$ — koeficijent prelaza toplote sa zastora na vazduh,
 $F_{ph} [m^2]$ — površina hlađenja zastora,
 $T_{pr} [^\circ C]$ — temperatura zastora u trenutku τ .

Jednačina (2) opisuje toplotni bilans stakla. Staklo je apsorbiralo sunčano zračenje koje se u masi stakla pretvorilo u toplotu (Q_{AS}). Staklo predaje toplotu konvekcijom spoljnjem vazduhu (Q_3) i vazduhu u »sendviču« (Q_1) i zračenjem spoljnoj polulopti prostora (Q_4), unutrašnjoj polulopti prostora (Q_5 — Q_6) i zastoru (Q_7).

Toplota od sunčanog zračenja koju apsorbira staklo:

$$Q_{AS} = a'_s I_{\delta T} F_s f \quad [W] \quad (9)$$

gde je:

a'_s — zbirni koeficijent apsorpcije stakla,
 $I_{\delta T} [W/m^2]$ — intenzitet sunčanog zračenja normalnog na površinu krova,
 $F_s [m^2]$ — površina staklenog dela krova,
 f — koeficijent zamućenosti atmosfere.

Toplota koju staklo predaje spoljnjem vazduhu konvekcijom je:

$$Q_3 = \alpha_e F_s (t_{er} - t_{st}) \quad [W] \quad (10)$$

gde je:

$\alpha_e [W/m^2K]$ — koeficijent prelaza toplote sa stakla na spoljni vazduh,
 $t_{er} [^\circ C]$ — trenutna spoljna temperatura.

Toplota koju staklo razmeni zračenjem sa poluloptom spoljašnjeg prostora je:

$$Q_4 = C_{se} F_s \beta_{se} (t_{st} - t_{er}) \quad [W] \quad (11)$$

gde je:

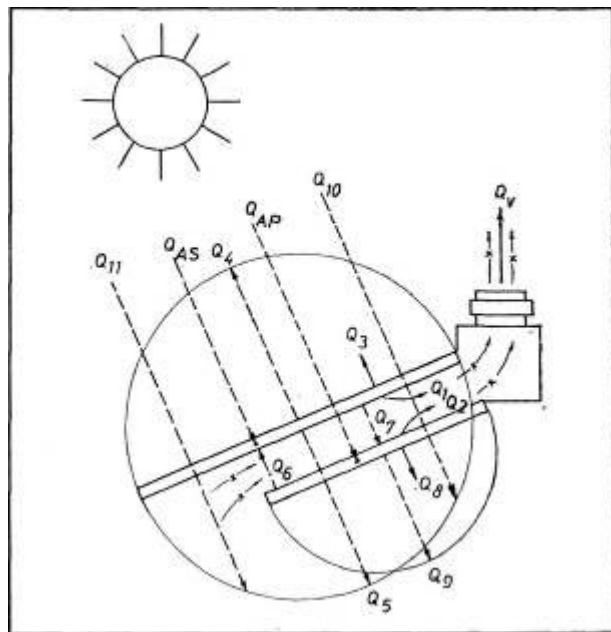
$C_{se} [W/m^2K^4]$ — konstanta uzajamnog zračenja stakla i okolnog poluprostora,
 $C_c = C_c \cdot \epsilon_{red se}$
 $C_c = 5,76 \text{ W/m}^2K^4$ — konstanta zračenja apsolutno crnog tela,
 $\epsilon_{red se}$ — redukovani koeficijent emisije za staklo i spoljašnji poluprostor. Računa se prema jednačini (12).

$$\epsilon_{red se} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\alpha_e} - 1\right) f_{se} + \left(\frac{1}{\alpha_e} - 1\right) f_{es}} \quad (12)$$

gde su:

α_s, α_e — koeficijenti apsorpcije stakla i spoljašnjeg poluprostora,
 f_{se}, f_{es} — geometrijski faktori uzajamnog zračenja.

Sl. 2. Toplotni bilans; -----> konvekcija, ———> zračenje, —.-.-> neizračena toplota, —x—x-> vazdušne strujnice



Za posmatrani slučaj, geometrijski faktori uzajamnog zračenja iznose $f_{se} = 1$ i $f_{es} = 0,5$.

U izrazu za toplotu koju staklo razmeni zračenjem sa poluloptom spoljašnjeg prostora [jednačina (11)], pojavljuje se i temperaturski koeficijent $\beta \mid K^3$. Ovaj koeficijent je dat u Merkelovom dijagramu, lit. [3]. Smatra se da spoljašnji prostor ima temperaturu spoljnog vazduha.

Toplota koju staklo razmeni zračenjem sa unutrašnjom poluloptom prostora, za slučaj da nema zastora, iznosi:

$$Q_5 = C_{su} F_s \beta_{sp} (t_{sr} - t_u) \quad [W] \quad (13)$$

Sve oznake su analogne prethodnim, iz jednačine (11). Indeks »u« odnosi se na unutrašnji prostor. Pretpostavka je da je temperatura unutrašnjeg poluprostora jednaka temperaturi unutrašnjeg vazduha.

Toplota koju bi staklo razmenilo zračenjem sa zastorom, kada bi ovaj imao temperaturu unutrašnjeg vazduha, iznosi:

$$Q_6 = C_{sp} F_p \beta_{sp} (t_{sr} - t_u) \quad [W] \quad (14)$$

gde je $F_p [m^2]$ — površina zastora.

Redukovani koeficijent emisije $\varepsilon_{red \ sp}$ računa se analogno prethodno objašnjenom. Geometrijski faktori uzajamnog zračenja iznose $f_{sp}=1$ i $f_{ps}=1$.

Toplota koju staklo razmeni zračenjem sa zastorom je:

$$Q_7 = C_{sp} F_p \beta_{sp} (t_{sr} - t_{pr}) \quad [W] \quad (15)$$

Sve oznake analogne su prethodnim. Geometrijski faktori zračenja isti su kao u jednačini (14). Jednačina (3) opisuje toplotni bilans zastora. Zastor je apsorbovao sunčano zračenje koje se u masi zastora pretvorilo u toplotu (Q_{AP}). Zastor predaje toplotu konvekcijom vazduha u »sendviču« (Q_2) i vazduhu u prostoriji (Q_8), i zračenjem unutrašnjoj polulopti prostora (Q_9). Istovremeno, zastor razmenjuje toplotu zračenjem sa staklom (Q_7).

Toplota od sunčanog zračenja koju je apsorbovao zastor:

$$Q_{AP} = a'_{p \delta \tau} F_p f \quad [W] \quad (16)$$

Oznake su analogne onima iz jednačine (11). Toplota koja se razmeni konvekcijom između zastora i vazduha u prostoriji iznosi:

$$Q_8 = \alpha_u F_p (t_{pr} - t_u) \quad [W] \quad (17)$$

gde je:

$\alpha_u [W/m^2 K]$ — koeficijent prelaza toplote sa zastora na vazduh u prostoriji,
 $t_u [^\circ C]$ — temperatura vazduha u prostoriji.

Toplota koja se razmeni zračenjem između zastora i unutrašnjeg poluprostora iznosi:

$$Q_9 = C_{pu} F_p \beta_{pu} (t_{pr} - t_u) \quad [W] \quad (18)$$

Indeks »p« odnosi se na zastor, a indeks »u« na unutrašnji prostor (za zastor se koristi indeks »p« zato što se zastor izrađuje od platna). Geometrijski faktori uzajamnog zračenja iznose $f_{pu} = 1$ i $f_{up} = 0,5$.

PRORACUN TOPLOTNOG OPTEREĆENJA

Toplotno opterećenje kroz stakleni krov predstavljeno je zbirom:

$$Q = Q_s + Q_T \quad [W] \quad (19)$$

gde je:

Q_s — toplotno opterećenje od sunčanog zračenja kroz krov i zračenja krova,

Q_T — toplotno opterećenje od prelaza toplote konvekcijom.

Toplotno opterećenje od sunčanog zračenja kroz krov i zračenja krova računa se prema izrazu:

$$Q_s = (Q_{10} + Q_{11} + Q_5 - Q_6 + Q_9) s_\tau \quad [W] \quad (20)$$

ili:

$$Q_s = Q_d s_\tau \quad [W]$$

gde su:

$Q_d [W]$ — toplotni dobici prostorije zračenjem krova i kroz krov,

$Q_{10} [W]$ — toplota koja dospeva u prostoriju zračenjem kroz deo staklenog krova koji je zaštićen zastorom,

$Q_{11} [W]$ — toplota koja dospeva u prostoriju zračenjem kroz deo staklenog krova koji nije zaštićen zastorom,

s_τ — koeficijent akumulacije toplote u trenutku τ .

Dobitak toplote Q_{10} računa se prema sledećem izrazu:

$$Q_{10} = d'_{sp} I_{\tau 0} F_p f \quad [W] \quad (21)$$

gde je d'_{sp} zbirni koeficijent propustljivosti stakla i zastora.

Slično se računa i dobitek toplote Q_{11} :

$$Q_{11} = d_s I_{\delta \tau} (F_s - F_p) f \quad [W] \quad (22)$$

gde je d_s — koeficijent propustljivosti stakla.

Opterećenje od konvekcije računa se prema izrazu:

$$Q_T = \alpha_u F_p (t_{pr} - t_u) = Q_8 \quad [W]$$

Ako vazduh koji ispira staklo i zastor ne struji preko dela stakla nezaštićenog zastorom, tada se izraz za Q_T mora dopuniti članom $\alpha_{ust} (F_s - F_p) (t_{sr} - t_u)$, koji predstavlja toplotu koja se konvekcijom prenese u prostoriju kroz

deo krova koji nije zaštićen zastorom; $\alpha_{u\text{ st}}$ je koeficijent prelaza toplote sa stakla na vazduh u prostoriji. Za ovakav slučaj jednačini (2) toplotnog bilansa bio bi pridodat sa desne strane i navedeni član.

KOEFICIJENTI APSORPCIJE, PROPUŠTANJA I REFLEKTOVANJA ZRAČENJA ZA STAKLO I ZASTOR

Na slici 3. prikazana je šema prolaza sunčanog zraka kroz staklo i zastor. Sabiranjem članova koji opisuju istorodne pojave (na primer samo apsorpciju), dobijaju se zbirni koeficijenti apsorpcije, propuštanja i refleksije sunčanog zračenja za staklo i zastor.

Uvodi se pojam *stadijum slabljenja zraka*, pod kojim se podrazumeva onaj zrak koji pri uzastopnom odbijanju između dve paralelne pre-preke (staklo i zastor) ima isti pravac i smer kao i upadni zrak (slika 3). Za ovakav model, zbirni koeficijenti apsorpcije, refleksije i propustljivosti glase:

$$\begin{aligned} a'_s &= a_s \left(1 + d_s \left(\sum_{i=2}^{i=n} \frac{i-1}{r_p r_s} \right) \right) \\ r'_{sp} &= r_s + d_s^2 \left(\sum_{i=2}^{i=0} \frac{i-1}{r_p r_s} \right) \\ a'_p &= d_s a_p \left(1 + \sum_{i=2}^{i=n} (r_p r_s)^{i-1} \right) \\ d'_{sp} &= d_s d_p \left(1 + \sum_{i=2}^{i=n} (r_p r_s)^{i-1} \right) \end{aligned} \quad (23)$$

gde je:

i — stadijum slabljenja zraka,
a, d, r — koeficijenti apsorpcije, propuštanja i odbijanja.

Indeksi označavaju:

s — staklo,
p — zastor,
sp — staklo i zastor.

Zbirni koeficijenti se bitno menjaju do drugog stadijuma slabljenja zraka. Posle drugog stadijuma slabljenja promena je sve manja. Podatak koji može da služi kao kriterijum za izbor stadijuma slabljenja, do kog treba računati koeficijente, je ostatak m:

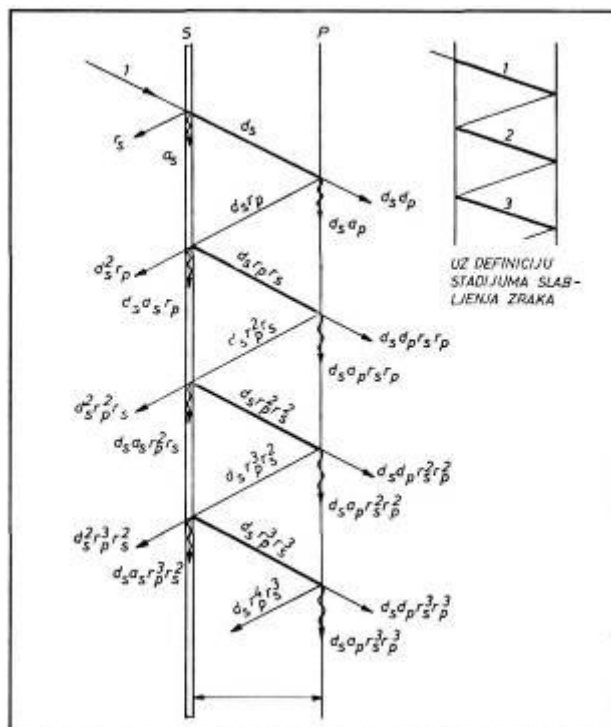
$$m = d_s r_p^i r_s^{i-1} \quad i \geq 2$$

KOEFICIJENTI APSORPCIJE ZA SPOLJAŠNJI »e« I UNUTRAŠNJI »u« PROSTOR

Koeficijent apsorpcije za spoljašnji prostor izračunat je na osnovu izraza za difuzno sunčano zračenje koje potiče od neba (lit. [2]). Prema njemu je $a_c = 0,12$.

Koeficijent apsorpcije za unutrašnji prostor usvojen je i iznosi $a_e = 0,9$, jer za većinu materi-

Sl. 3. Šema prolaza sunčanog zraka kroz staklo i zastor



jala, od kojih se izrađuje enterijer prostorije, koeficijent apsorpcije ima približno ovu vrednost.

KOEFICIJENT PRELAZA TOPLOTE α I TEMPERATURSKI KOEFICIJENT β

Da bi se izračunao koeficijent prelaza toplote, prvo se računa Reynoldsov broj za strujanje vazduha u sendviču. Pošto se odredi režim strujanja, računa se koeficijent prelaza toplote za strujanje preko ravne ploče. Slično se računaju i koeficijenti prelaza toplote sa stakla na spoljni vazduh i sa zastora na vazduh u prostoriji. Brzine vazduha se usvajaju. Režim strujanja vazduha u sendviču je uobičajeno laminaran.

Koeficijent prelaza toplote računa se za najveću dužinu strujanja, kao najnepovoljniji slučaj, jer je za manju dužinu strujanja ovaj koeficijent veći. Pošto razlike u dužinama preko kojih struji vazduh u sendviču nisu velike, može se izvršiti ovo uprošćenje.

Temperaturski koeficijent β određuje se iz Merkelovog dijagrama za temperature površina koje razmenjuju toplotu zračenjem.

INTENZITETI SUNČANOG ZRAČENJA U PRAVCU NORMALE NA KROV

U jednačinama toplotnog bilansa računa se sa intenzitetom sunčanog zračenja normalnim na krov, prema sledećem izrazu:

$$I_\delta = I_v \sin \delta \pm I_H \cos \delta \quad [\text{W/m}^2] \quad (24)$$

gde je:

$I_v [\text{W/m}^2]$ — intenzitet sunčanog zračenja na vertikalni zid,

$I_H [W/m^2]$ — intenzitet sunčanog zračenja na horizontalnu površinu,
 $\delta [^\circ]$ — ugao nagiba krova prema horizontalnoj ravni.

POSTUPAK REŠAVANJA SISTEMA JEDNACINA TOPLOTNOG BILANSA

Cilj rešavanja sistema jednačina toplotnog bilansa je određivanje toplotnog opterećenja prostorije od sunčanog zračenja kroz površinu staklenog krova. Proračun se vrši približavanjem korak po korak. Prvo se pretpostave temperature t_{v2} , t_s i t_p , pa se na osnovu njih odrede koeficijenti prelaza topline α i temperaturski koeficijenti β . Zatim se rešava sistem jednačina toplotnog bilansa. Rešenja sistema su temperature t_{v2} , t_s i t_p . Ako se dobijena rešenja razlikuju od pretpostavljenih, postupak treba ponoviti.

Cilj proračuna je određivanje maksimalne vrednosti toplotnog opterećenja prostorije. Sistem jednačina toplotnog bilansa nije potrebno rešavati za svaki sat u toku dana, već samo za jedan uži vremenski interval. Ovaj interval se određuje eliminisanjem svih onih časova u kojima pojava maksimuma opterećenja nije moguća. Časovi koje treba odbaciti su svi oni pre 12^h, jer je za prepodnevne časove karakteristično da su intenzitet sunčanog zračenja i trenutna spoljna temperatura manji nego u 12^h. Za časove posle 15^h takođe važi da su intenzitet sunčanog zračenja i trenutna spoljna temperatura manji nego u 15^h, pa i za ove časove ne treba vršiti proračun toplotnog opterećenja. U intervalu od 12 do 15^h raste spoljna temperatura vazduha, a opada intenzitet sunčanog zračenja, pa se ne može sa sigurnošću unapred odrediti trenutak javljanja maksimalnog toplotnog opterećenja, već proračun treba sprovesti za svaki sat u posmatranom intervalu vremena (slika 4). Ovaj vremenski interval se, naravno, menja ako je nagib krova veliki, a orijentacija krova nije južna.

Primer

Za objekat koji se nalazi u Beogradu (gradska zamućenost atmosfere) izračunati toplotne dobitke u 12^h kroz stakleni krov južne orijentacije, nagnut pod uglom $\delta = 30^\circ$ prema horizontalnoj ravni. Krov je zaštićen unutrašnjim zastorom, a kroz međuprostor između stakla i zastora odsisava se vazduh. Staklo je dvostruko, termopan (spoljnje staklo je zeleno apsorpciono, a unutrašnje obično bezbojno). Koeficijenti refleksije, propuštanja i apsorpcije stakla su $r_s = 0,12$, $d_s = 0,39$, $a_s = 0,49$.

Zastor je izrađen od svetle pamučne tkanine koja ima dovoljnu propustljivost svetla. Rastojanje između stakla i zastora je $d = 0,4$ m. Koeficijenti refleksije, propuštanja i apsorpcije zastora su $r_p = 0,51$, $d_p = 0,23$ i $a_p = 0,26$.

Posmatran je toplotni fluks kroz segment staklenog krova dimenzija:

$$F_s = 5,9 \cdot 5,77 = 34 \text{ m}^2$$

Dimenzije zastora su:

$$F_p = 5,9 \cdot 5,47 = 32,3 \text{ m}^2$$

Tabela 1. Potrebni podaci za proračun dobitaka topline kroz stakleni krov

Velicina	Oznaka	Dimenzija	Vrednost
Koeficijent prelaza topline sa spoljne strane stakla	α_e	W/m^2K	1,6
Koeficijent prelaza topline sa zastora na unutrašnji vazduh	α_{ti}	W/m^2K	0,75
Koef. prelaza topline sa stakla i zastora na vazduh u »sendviču«	$\alpha_s = \alpha_p$	W/m^2K	0,85
Gustina vazduha	ρ_v	kg/m^3	1,2
Zapreminski protok vazduha	V_v	m^3/s	0,59
Specifična toplota vazduha	C_{pv}	J/kgK	1005
Zbirni koeficijent apsorpcije stakla	a_s'	—	0,59
Zbirni koeficijent apsorpcije zastora	a_p'	—	0,11
Zbirni koeficijent propustljivosti stakla i zastora	d'_{sp}	—	0,1
Temp. vazd. na ulazu u »sendvič«	t_{v1}	$^\circ C$	26 (20)*
Intenzitet ukupnog sunč. zračenja	I	W/m^2	864
Ugao nagiba krova prema horizontu	δ	$^\circ$	30
Intenzitet sunčanog zračenja unavnog na krov	$I\delta$	W/m^2	860
Konstanta uzajamnog zračenja staklo-okolina	C_{se}	W/m^2K^4	1,00
staklo-unutrašnjost	C_{su}	W/m^2K^4	2,75
staklo-zastor	C_{sp}	W/m^2K^4	1,15
zastor-unutrašnjost	C_{pu}	W/m^2K^4	1,48
Temp. spoln. i un. vazduha	t_e	$^\circ C$	31,9
Temperaturski koef.	β_{se}	K^3	1,4
	β_{su}	K^3	1,35
	β_{sp}	K^3	1,6
	β_{pu}	K^3	1,3
Temperatura stakla	t_s	$^\circ C$	103 (102)
Temperatura zastora	t_p	$^\circ C$	71 (70)
Temp. vazd. na izlazu iz »sendviča«	t_{v2}	$^\circ C$	30 (24)

* Vrednosti u zagradama su za slučaj ispiranja pripremljenim vazduhom.

Površina hlađenja stakla je $F_{sh} = 0,95 F_s$, a površina hlađenja zastora $F_{ph} = 0,95 F_p$.

Vazduh koji se izvlači kroz »sendvič«, tj. kojim se vrši ispiranje prostora između staklenog krova i zastora, može biti prethodno pripremljen (ohlađen), ili se može koristiti otpadni vazduh iz prostorije koji se ionako mora odvesti. Primer je urađen za slučaj da se vrši ispiranje otpadnim vazduhom temperature $t_u = t_{v1} = 26^\circ C = \text{konst.}$ Poređenja radi, u tabeli 1. date su i neke karakteristične vrednosti za slučaj da se ispiranje vrši pripremljenim vazduhom temperature $t_{v1} = 20^\circ C$ (brojevi u zagradi). Ova varijanta nije prikazana detaljno, jer su skoro svi podaci isti, a pri proračunu se koristi isti matematički model.

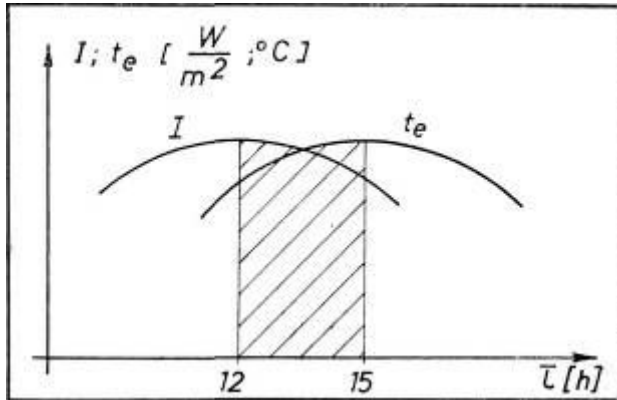
Pretpostavljene temperature na početku proračuna su: $t_{v2} = 30^\circ C$, $t_{vm} = 28^\circ C$, $t_s = 100^\circ C$ i $t_p = 70^\circ C$.

Brzine vazduha su:

— spoljna sredina	$w = 1$ m/s
— unutrašnji prostor	$w = 0,2$ m/s
— u »sendviču«	$w = 0,25$ m/s

Radi bolje preglednosti i kompaktnosti proračuna, sve ostale usvojene i izračunate vrednosti potrebne za proračun date su u tabeli 1.

Sl. 4. Šrafirana oblast predstavlja interval vremena u kojem treba vršiti proračun



Iz tabele 1. može se videti da su izračunate vrednosti temperatura približno jednake pretpostavljenim, pa postupak ne treba ponoviti.

ZAKLJUČAK

Analizom toplotnih opterećenja prema tabeli 2, može se zaključiti da zastor predstavlja dobru zaštitu od sunčanog zračenja. Izvlačenjem otpadnog vazduha iz prostorije kroz prostor između stakla i zastora može se odstraniti oko 10% energije sunčanog zračenja (navedeni procenat važi za dati primer). Ukoliko bi se ispiranje stakla i za-stora vršilo prethodno pripremljenim vazduhom, temperature stakla i zastora bi se neznatno snizile (do nekoliko procenata), nešto malo bi se povećao koeficijent prelaza toplote α , dok bi se vazduhom odvedena količina toplote neznatno promenila.

Koeficijent prelaza toplote moguće je povećati povećanjem brzine strujanja vazduha, tj. povećanjem protoka vazduha kroz »sendvič«. Ovakvo rešenje bi trebalo analizirati za svaki konkretan slučaj, jer protok vazduha raste linearno sa brzinom strujanja, a koeficijent prelaza toplote srazmerno korenu brzine. Ako se brzina strujanja vazduha udvostruči, protok se povećava za 100%, a α samo za 41%. Brzina strujanja se može povećati i smanjenjem rastojanja d između stakla i zastora. Tom prilikom se smanjuje poprečni presek i može doći do značajnog povećanja brzine vazduha i koeficijenta α . Međutim, ovakvo strujanje izaziva velike otpore i mogućnost stvaranja kratke veze kroz procepe između zastora. U slučaju ovakvog rešenja mora se voditi računa o obliku i zaptivenosti konstrukcije nosećih elemenata zastora.

Relativno visoke temperature stakla i zastora dobijene u rešenom primeru posledica su pre

Tabela 2. Raspodela toplote od sunčanog zračenja

Količina toplote	[W]
Q_v	2 846
Q_1	2 062
Q_2	1 123
Q_3	3 873
Q_4	3 389
Q_5	9 732
Q_6	4 582
Q_7	1 904
Q_8	1 091
Q_9	2 676
Q_{ad}	3 059
Q_{as}	17 273
Q_u^*	29 277

* Napomena: Q_u — $F_s I_0$ — toplotna energija od sunčanog zračenja na ulazu u sistem.

svega vrlo strogog kriterijuma (najnepovoljniji slučaj) pri određivanju koeficijenta prelaza toplote sa stakla na spoljni vazduh (brzina vetra svega 1 m/s). Promena koeficijenta prelaza toplote sa 1,6 na 8 W/m²K izaziva sniženje temperature stakla za oko 30°C. Dakle, pravilno procenjivanje brzine vetra je od velikog značaja pri rešavanju problema ove vrste.

Izvesno je da izvlačenje otpadnog vazduha kroz prostor između staklenog krova i zastora dovodi do ušteda energije, jer se ovaj vazduh ionako mora odvesti iz klimatizovanog prostora. Osim toga, mnogo je bolje i lakše odvesti toplotu na samom ulazu u sistem, nego je eliminisati iz nekog unutrašnjeg dela sistema.

Trebalo bi napomenuti da je izloženi proračun približan i da matematički model i urađeni primer služe orijentaciono, jer su, uprošćenja radi, neki faktori zanemareni. Tako, na primer, zanemarena je međusobna refleksija toplotnog zračenja između površina prilikom određivanja količine toplote razmenjene zračenjem. Koeficijenti koji karakterišu međusobno zračenje površina (redukovani koeficijent emisije) važe za površine sa malim rastojanjem u odnosu na svoje dimenzije. Zanemarena je mogućnost stvaranja kratke veze strujanja vazduha kroz sam materijal zastora i duž njegovih bočnih ivica. Unutrašnji omotač prostorije i spoljna sredina smatrani su poluloptama u izrazima za zračenje. Izloženim postupkom moguće je dovoljno tačno izračunati toplotno opterećenje prostorije od sunčanog zračenja kroz velike staklene površine zaštićene unutrašnjim zastorima, pri čemu se kroz prostor između stakla i zastora izvlači otpadni vazduh iz prostorije. Uprošćenja i približenja primenjena u ovom postupku mogu dovesti samo do izvesnog predimenzionisanja, a nikako do poddimenzionisanja klimatizacionog postrojenja.

LITERATURA

- [1] JANKOVIĆ, LJ.: Diplomski rad (neobjavljen), Beograd, 1981.
- [2] JONES, W. P.: *Air Conditioning Engineering*, London, Edward Arnold, 1975.
- [3] MALIC, D.: *Termodinamika i termotehnika*, Beograd, Građevinska knjiga, 1977.
- [4] KOZIC, Đ. i BEKAVAC, V.: *Priručnik za termodinamiku*, Beograd, Mašinski fakultet, 1976.