

Temperaturna polja u prozorima

Temperature fields in windows

Izvorni znanstveni rad • Original scientific paper

Primljeno - received: 29. 10. 2001. • Prihvaćeno - accepted: 19. 02. 2002.

*UDK 630*833.152*

SAŽETAK • U ovom je radu urađena analiza prijenosa topline u kompozitnim materijalima proizvoljnog oblika metodom konačnih zapremina. Pretpostavljen je dvodimenzionalni i stacionarni slučaj. Radi demonstriranja pogodnosti metode, izvršena je analiza temperaturnih polja u poprečnom presjeku prozora. Domena rješavanja sastavljena je od različitih materijala, različito oblikovanih. Da bi se dokazala valjanost predikcije, konačnim zapreminama izračunana je temperatura uspoređena s rezultatima dobivenim proračunom konačnim elementima i utvrđeno je da se ti rezultati međusobno dobro slažu. Izvedeni su proračuni pokazali da se proračunska tehnika može iskoristiti za istraživanje i dizajniranje prozora.

Ključne riječi: prozor, temperatura, metoda konačnih zapremina

SUMMARY • In this paper, the analysis of heat transfer in composite materials of arbitrary shape is made by a Finite Volume Method (FVM). A two – dimensional, steady case is assumed. An analysis of temperature fields in the cross section of windows is performed in order to check the appropriateness of the applied method. The solution domain is composed of different materials of various shapes. Temperature fields in windows with double and single window – pane are compared. It is shown how the air increases the thermal resistances, decreases the heat fluxes and increases the temperature on the surface of the window – pane in the window with double window – pane. Results show that the temperature gradients in y and x planes are different, and that the calculation on the 20 mm height above the frame may be approximated with a one – dimensional analysis. In order to confirm the validity of FV predictions, the calculated temperature is compared with the finite element computation. It is found that there is a considerable similarity between the two results. The performed calculations have shown that the computational technique could be used for windows research and design.

Key words: window, temperature, finite volume method.

¹ Autori su redom, izvanredna profesorica, odnosno docent na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu.

¹ Authors are an associate professor and an assistant professor, respectively, at the Faculty of Mechanical Engineering, University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

1. UVOD
1. INTRODUCTION

Prostor u kojemu ljudi borave treba svakom pojedincu pružiti ugodne i komforne uvjete. Postizanje tih uvjeta komplicira se ako se grade objekti od laganog materijala, s dosta staklenih površina. Tada energetske gubici zgrade postaju veći i mogu se povećati eksploatacijski troškovi za energiju, koja bi trebala osigurati uobičajenu razinu komfora. Zbog toga pri rješavanju problema toplinske zaštite objekta treba voditi brigu o toplinskom otporu ne samo zidova nego i prozora. Važna je i temperatura unutarnje površine prozorskog krila jer neugoda može biti prouzročena niskom temperaturom prozorskog stakla i pojavom rose na njemu.

Zbog svega navedenog vrlo je važno poznavati temperaturno polje u poprečnom presjeku prozorskog krila. Kako se prozorsko krilo sastoji od dijelova od različitog materijala i različitog oblika, bitno je ispitati njihov utjecaj na veličinu toplinskog otpora i temperaturu unutarnje površine stakla.

U ovom su radu temperaturna polja u poprečnom presjeku prozorskih krila dobivena primjenom numeričke metode konačnih zapremina (MKZ).

2. FIZIKALNI MODEL
2. PHYSICAL MODEL

Fizikalni model problema jest jednostruki prozor s jednostrukim zastakljenjem i s dvostrukim staklom sa zračnim međuslojem (sl.1), što omogućuje ispitivanje utjecaja zračnog međusloja na toplinske gubitke.

Pri numeričkom proračunu temperaturnog polja usvojene su ove pretpostavke:

- stacionarnost parametara vanjskoga i unutarnjeg zraka
- fizikalni model zbog velike širine stakla u odnosu prema širini drvenog okvira i zbog jednakih uvjeta razmjene topline u smjeru treće osi ima karakter 2D problema
- fizikalna svojstva materijala smatraju se nepromjenjivima
- zanemaruje se anizotropnost drva
- koeficijent prijelaza topline smatra se nepromjenjivim

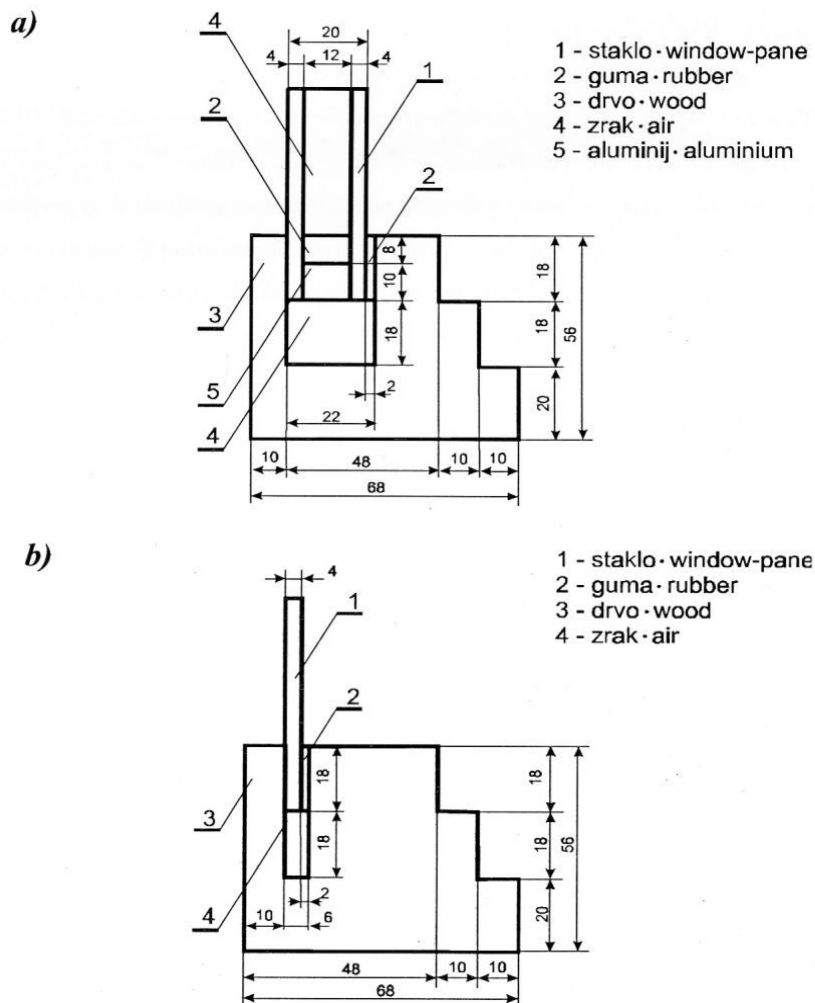
Slika 1.

Poprečni presjek prozorskog krila:

- a) s dvostrukim staklom,
- b) s jednostrukim staklom

• The cross section of the window:

- a) with double window – pane,
- b) with single window – pane



- učinak zračenja uračunan je putem koeficijenta prijenosa topline zračenjem.

**3. MATEMATIČKI MODEL
I NUMERIČKI POSTUPAK
3. MATHEMATICAL MODEL AND
NUMERICAL SOLUTION PROCEDURE**

Proces prijenosa topline u tijelu prizmatičnog oblika, pri čemu je zanemarena promjena temperature u smjeru treće osi i za stacionarni problem, opisan je jednadžbom bilance energije:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + G = 0 \quad (1)$$

gdje su x, y - kartezijanske prostorne koordinate točke, k - koeficijent toplinske vodljivosti, T - temperatura tijela, G - izvorni član.

Da bi se matematički model kompletirao, moraju biti definirani rubni uvjeti. Računa se razmjena topline između prozora i okoline, a ona je rezultat konvekcijske razmjene i razmjene putem zračenja. Ako je neki od rubova domene ravnina simetrije, tada se smatra da je na toj površini temperaturni gradijent jednak nuli.

Jednadžba bilance energije uz odgovarajuće rubne uvjete riješena je primjenom metode konačnih zapremina [2].

Da bi se opća diferencijalna jednadžba transformirala u sustav algebarskih jednadžbi, izvršeno je diskretiziranje prostora i jednadžbe.

Domena rješavanja za primjere obrađene u ovome radu složenog je geometrijskog oblika i zbog toga je korišten računalni program COMET, koji omogućuje generiranje proizvoljne nestrukturirane mreže [1]. Druga je teškoća to što se unutar domene rješavanja pojavljuje više različitih materijala različitih fizikalnih svojstava, te je bilo potrebno kreirati određeni programski postupak da se taj specifični problem riješi. Nakon što je domena rješavanja diskretizirana u N kontrolnih zapremina (KZ), jednadžba (1) u integralnom se obliku piše za svaku KZ.

Primjenjuje se Gaussov teorem za pretvaranje zapreminskog integrala difuzijskog fluksa u površinski, zatim shema centralnog diferenciranja da se dobiju vrijednosti gradijenta ovisne varijable na površinama KZ-a, a integrali se izračunavaju primjenom pravila centralnog pravokutnika. Na rubovima različitih poddomena fizikalna se svojstva (koeficijent toplinske vodljivosti) izračunavaju nelinearnim interpoliranjem između vrijednosti u dvije susjedne računalne točke, koje se u slučaju uniformne mreže svodi na harmonijsku sredinu.

Dobiveni sustav algebarskih jednadžbi riješen je iterativnom metodom, metodom konjugiranih gradijenata (Conjugate gradient) [2]. Počinje se s pretpostavljenim rješenjem, a zatim se postupak približavanja točnom rješenju ponavlja dok se ne dobije konvergentno rješenje.

**4. PRIMJERI PRIMJENE
4. EXAMPLES OF APPLICATION**

Temperaturno polje u presjeku prozorskog krila s jednostrukim zastakljenjem i s dvostrukim staklom u razmaku (sl.1) dobiveno je MKZ-om. Vrijednosti koeficijenta toplinske vodljivosti materijala pojedinih poddomena dane su u tablici 1 [4].

Pri proračunu temperaturnog polja u prozorskom krilu s dvostrukim staklom rađeno je s 1160 KZ-ova, a u prozorskom krilu s jednostrukim staklom s 957 KZ-ova [3].

Korišteni su ovi rubni uvjeti:

- na vanjskim bočnim rubovima stakla i drvenog okvira te na gornjim rubovima drvenog okvira uzet je rubni uvjet trećeg reda (provedena toplina kroz rubni sloj jednaka je predanoj toplini)
- na gornjem rubu ostakljenog dijela i na donjem rubu drvenog okvira, koji je u dodiru s nepokretnim dijelom prozora, pretpostavljeno je da je temperaturni gradijent jednak nuli.

Koeficijenti prijelaz a topline s vanjske i s unutarnje strane prozora izračunati su tako što su vrijednostima koeficijenta prijelaza

Materijal · material	Koeficijent toplinske vodljivosti · heat conduction coefficient (W/mK)
aluminij 99 % · aluminium	208
drvo · wood	0,209
guma · rubber	0,157
staklo · window – pane	0,81
zrak · air	0,0257

Tablica 1.

Koeficijent toplinske vodljivosti za različite materijale · Heat conduction coefficient for different materials

$$\begin{aligned} \alpha_{Ko} &= 5,8 + 4u, \\ \alpha_{Kp} &= 1,59 \Delta T^{0,33}, \\ \alpha_Z &= \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_{ok}^2) (T_s + T_{ok}), \\ \alpha_{uk} &= \alpha_K + \alpha_Z, \end{aligned}$$

topline pri prisilnoj, odnosno prirodnoj konvekciji dodane vrijednosti koeficijenta prijenosa topline zračenjem [5]:

gdje su α - koeficijent prijelaza topline, u - brzina strujanja zraka, ΔT - razlika temperature unutarnje površine stakla i temperature u prostoriji, ε - koeficijent emisije staklene površine, σ - konstanta zračenja crnog tijela, T_s i T_{ok} - temperature staklene površine i okolnih površina.

U gornjim izrazima indeksi imaju značenje: K - konveksijski, Z - zračenja, o - vanjski, p - prostorije, uk - ukupni.

Koeficijenti prijelaza topline za pretpostavljene vrijednosti m/s , K , K , K i za poznato W/m^2K^4 , dani su u tablici 2, uz temperature zraka s vanjske i unutarnje strane prozora.

Za prozor s jednostrukim staklom, zbog niže temperature stakla s unutarnje strane, računato je s W/m^2K .

Rezultati proračuna prikazani su u grafičkom obliku. Na slici 2. prikazano je temperaturno polje u prozorskom krilu s dvostrukim staklom. Vidi se da su temperaturni gradijenti manji u drvenom okviru nego u ostakljenom dijelu, a u drvenom okviru dolazi do promjene temperaturnog gradijenta pri prijelazu iz područja u kojemu je samo jedan materijal (drvo) u područje u kojemu ima i drugih materijala. To se vidi i sa slika 3. i 4. Sloj zraka utječe na povećanje toplinskog otpora, kako u drvenom okviru ($y=29$ mm), tako i u ostakljenom dijelu ($y=69$ mm), a sloj aluminija djeluje na njegovo smanjenje ($y=43$ mm). Sa slike 2. vidi se da su temperaturni gradijenti u ravninama $y=konst.$ veći nego u ravninama $x=konst.$

Na slici 5. prikazani su vektori gustoće toplinskog fluksa u poprečnom presjeku prozorskog krila. Sa slike se vidi kako koeficijent toplinske vodljivosti i temperaturni gradijent utječu na njihovu veličinu. Osobito je uočljivo njihovo povećanje u poddomeni od aluminija te smanjenje u zračnoj poddomeni. Vidi se da je u domeni unutar ostakljenog dijela uz okvir i unutar njega problem potrebno razmatrati kao dvodimenzionalni.

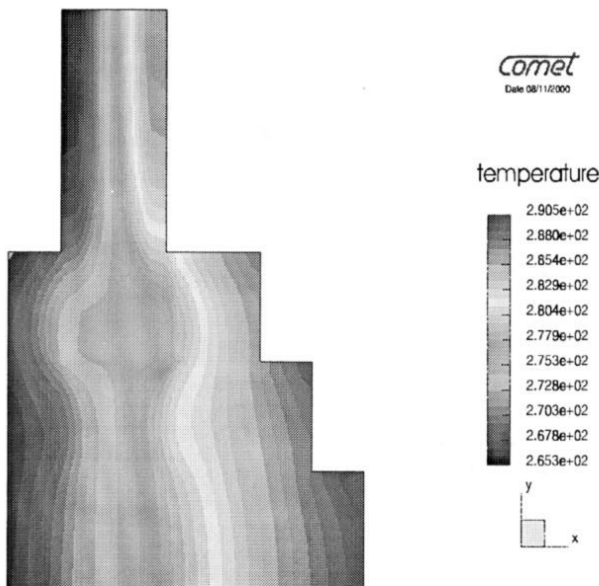
Tablica 2.

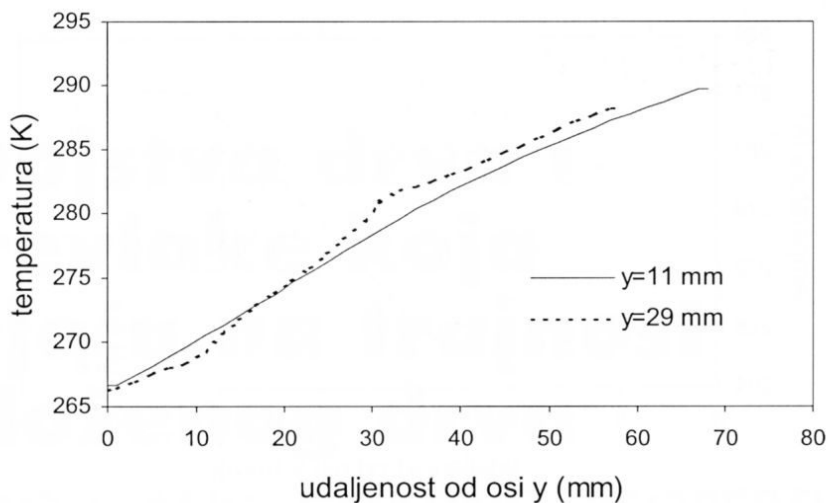
Temperatura i koeficijent prijelaza topline s vanjske i s unutarnje strane prozora • Temperature and heat transfer coefficient inside and outside window

t_o (°C)	t_p (°C)	α_{ouk} (W/m ² K)	α_{puk} (W/m ² K)
-10	22	23	7,7

Slika 2.

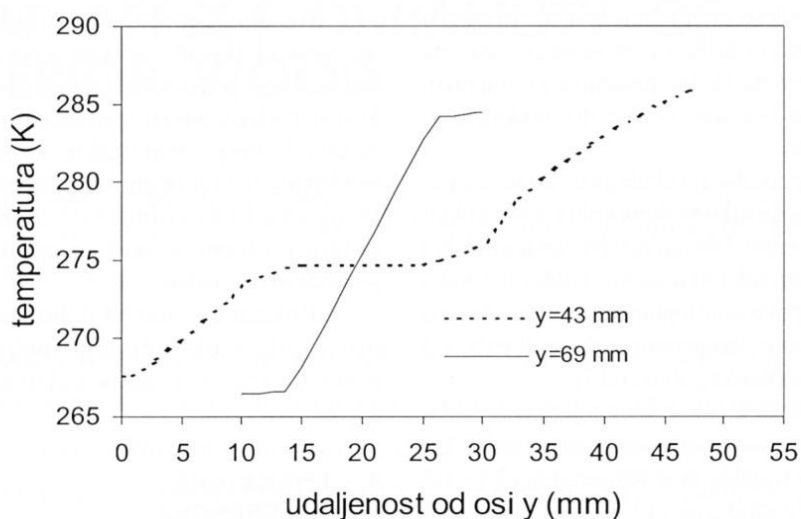
Temperaturno polje u prozorskom krilu s dvostrukim staklom • Temperature field in the window with double window – pane





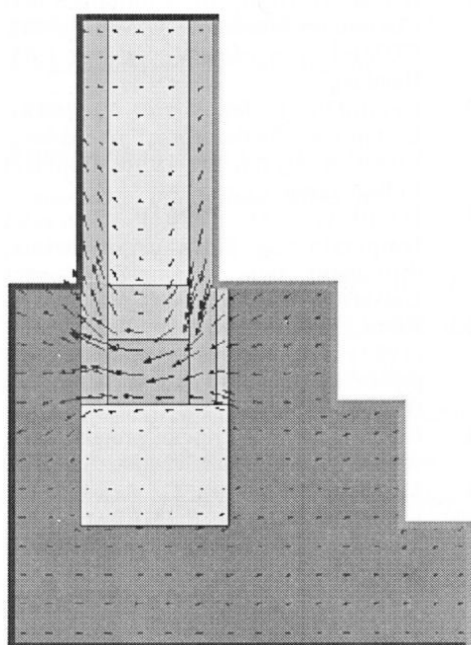
Slika 3.

Profil temperature u dva y presjeka za jednostruki prozor s dvostrukim staklom
 • Temperature profile in two y sections for single window with double window – pane



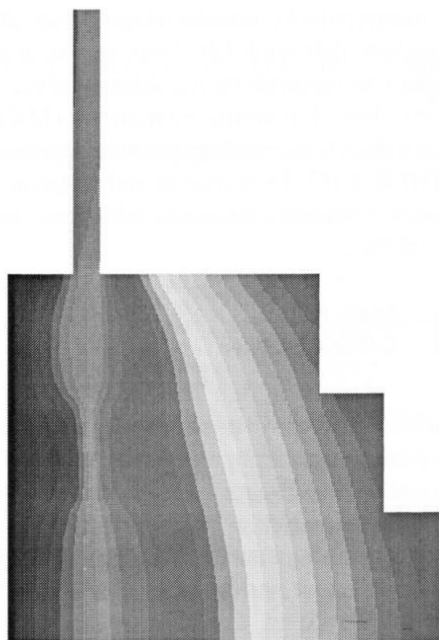
Slika 4.

Profil temperature u dva y presjeka za jednostruki prozor s dvostrukim staklom
 • Temperature profile in two y sections for single window with double window – pane



Slika 5.

Vektori gustoće toplinskog fluksa u poprečnom presjeku prozorskog krila
 • Vectors of heat fluxes in the cross section of the window casement



Slika 6.

Temperaturno polje u prozorskom krilu s jednostrukim staklom
 • Temperature field in the window with single window – pane

Comet
 Date 08/11/2000

temperature

