

Štefo Šorn

Utjecaj debljine zračnog sloja na koeficijent prolaska topline ostakljenoga drvenog okvira

Influence of air space thickness on thermal transmittance of wooden window

Stručni rad • Profesional paper

*Prispjelo – received 07. 12. 1998. • Prihvaćeno - accepted: 19. 01. 2002.
UDK 630* 833.152*

SAŽETAK • U radu je obrađeno ispitivanje utjecaja debljine zračnog sloja između stakala na koeficijent prolaska topline. Ispitivanje je vršeno na drvenom okviru (jele/smreke) sa običnim ravnim staklom 3 i 4 mm debljine, metodom tople kutije. Medij između stakala bio je atmosferski zrak, a udjel drvene površine u prozorskoj plohi je iznosio 30%. Radom je potvrđen učinak debljine zračnog sloja na toplinsku izolaciju prozora.

Rezultati rada mogu biti korisni za projektiranje i konstruiranje prozora.

Ključne riječi: IZO staklo, k-vrijednost, drveni prozor, toplinska izolacija.

ABSTRACT • The paper discusses the influence of the width of air space between glass panes on thermal transmittance of the window. The measurement was performed using a worm box method on the spruce frame with standard insulating glass units with pane thickness of 3 and 4 mm. Atmospheric (moist) air was sealed between the glass panes, and the proportion of the wood in the window area was 30 %. The paper confirms the positive influence of air space thickness on thermal insulation of windows. The results obtained here could be used for design and construction of windows.

Key words: insulating glass, k-value, thermal transmittance, wood window, thermal insulation.

Autor je predavač na Odsjeku za tehnologiju drva Mašinskoga fakulteta u Sarajevu.
Author is a lecturer at the Department of wood technology of the Faculty of Mechanical Engineering in Sarajevo.

1. UVOD 1. INTRODUCTION

Proizvođači prozora u drvnoj industriji u sklopu svoje proizvodnje sve više izrađuju termoizolacijska stakla (IZO stakla) da bi bili manje ovisni o tržištu i na taj način utjecali na cijenu svog proizvoda. Osim toga, kapaciteti te proizvodnje znatno su povećani, osobito u privatnom sektoru.

Kao jedno od zanimljivih (i normiranih) obilježja kvalitete prozora jest toplinska izolacija koja izravno ovisi o toplinsko-izolacijskim svojstvima ugrađenoga staklenog panela. Zrak, najčešći medij koji služi kao ispunjena između stakala, glavni je nosilac tog obilježja.

Prenošenje toplinske energije kroz prozor uvjetovano je klimatskom situacijom. Zimi je omogućeno prolaskom topline i propusnošću zraka kroz prozor (potrebna je zaštita od gubitka unutarnje topline), a ljeti zračenjem sunca (potrebna je zaštita od prekomjernog ulaska vanjske topline).

Toplinsku izolaciju u ovome radu pratit ćemo na temelju koeficijenta prolaska topline kroz prozor u ovisnosti o debljini zračnog sloja između stakala.

Problemi toplinskih gubitaka u graditeljstvu očitivali su se s pojavom energetske krize sedamdesetih godina. Prozori i balkonska vrata kao laki građevni elementi moraju ispunjavati određene zahtjeve kao i svaki drugi građevni proizvod (materijal), pa prema tome i zahtjeve toplinske zaštite.

Kao proizvodi svojstveni drvnoj industriji u početku (misli se na industrijsku proizvodnju u bivšoj Jugoslaviji) su većinom rađeni "kao nasljedni" proizvodi, odnosno bez posebnog projektiranja i konstruiranja. Uvođenjem zakonske regulative, osobito sa stajališta toplinske zaštite, već je obrađivana problematika proizvodnje fasadne stolarije (stručni žargonski izraz za prozor i balkonska vrata) na drugi način. Razvile su se različite konstrukcije prozora u skladu s razvojem građevnog materijala i arhitektonskim rješenjima. Klasični prozor sa širokim i uskim doprozornikom u većini urbanih naselja zamijenjen je konstrukcijama k/k (krilo na krilo) i jednostrukim prozorima s termoizolacijskim staklom. U Europi se već odavno a odnedavno i na našim prostorima prevladava konstrukcija prozora s termoizolacijskim staklom.

Pod termoizolacijskim staklom (IZO staklom) podrazumijevamo uvriježeni naziv za spoj dvaju stakala na određenom rastojanju (obično 6 do 18 mm) pri čemu je prostor između stakala ispunjen zrakom ili nekim plemenitim plinom. Najčešći medij kao is-

puna u termoizolacijskom staklu jest suhi zrak. Takva konstrukcija preovladava na našem tržištu, a na europskome pojavljuju se još i konstrukcije s argonskim ili kriptonским punjenjem.

Koeficijent prolaska topline "k" prozora izravno ovisi o upotrijebljenom materijalu, konstrukciji prozora i odnosu drvenih i staklenih površina.

Debljine drvenih elemenata prozora najčešće se kreću od 56-58 mm do 68-70 mm, ovisno o konstrukciji. Te debljine omogućuju ugradnju stakla s razmakom od 24 do 36 mm. Do rata je na teritoriju BiH uglavnom korištena konstrukcija termoizolacijskog stakla 4+12+4, što znači hermetički spoj dvaju stakala debljine 4 mm i zračnog sloja od 12 mm.

Danas na tim prostorima nudi se i upotrebljava širi spektar konstrukcija IZO stakla sa zračnim slojevima debljine od 6, 12, 14, 15, 16 i 18 mm.

Gubitke topline kroz fasadnu stolariju čine gubici uvjetovani prolaskom topline i gubici konvekcijom (gubici prouzročeni propusnošću zraka između krila i doprozornika/dovratnika) a proračunavaju se odvojeno.

Na osnovi gore iznesenoga a za nas je trenutačno zanimljiv problem prolaska topline kroz prozor isključujući gubitke zbog propusnosti zraka, u ovisnosti o debljini zračnog sloja između stakala.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA 2. AIM OF RESEARCH

Cilj ovoga rada bio je ustanoviti utjecaj debljine zračnog sloja na gubitke toplinske energije kroz ostakljeni drveni okvir, koji čini prozor. Zračni se sloj nalazi između dva stakla debljine 3 ili 4 mm koja su na određenom razmaku hermetički spojena. Na taj način isključujemo razmatranje toplinskih gubitaka zbog propusnosti zraka između prozorskih krila i doprozornika.

Toplinski će gubici biti izraženi toplinskim tokom i srednjim koeficijentom prolaska topline ostakljenoga drvenog okvira.

3. METODA RADA 3. RESEARCH METHODS

Za ispitivanje je korištena metoda "to-ple kutije" koja se zasniva na tome da uzorak koji ispituje služi kao zid koji razdvaja toplu od hladnog prostora (toplu od hladne komore). Topla komora grije se električnim grijanjem radi postizanja željene temperature zraka i ima kompenzacijsku komoru koja je

okružuje, ali i grijače koji onemogućuju neželjene gubitke topline.

Na taj način je toplinski fluks usmjeren prema hladnoj komori u kojoj je temperatura zraka oko -20°C . U toploj je komori temperatura zraka oko 25°C . U obje komore uspostavlja se prisilna cirkulacija zraka pomoću ventilatora radi ravnomjernog rasporeda temperature po površini uzorka.

Ispitivani je uzorak bio ostakljeni drveni okvir dimenzija $1000 \times 1000 \text{ mm}$. Nakon ugradnje uzorka aktivna površina iznosila je $A = 0,9216 \text{ m}^2$.

Na osnovi utrošene električne energije, stacionarnih uvjeta postignutih u određenom vremenu u komori i ostvarenih temperaturnih razlika računski dobivamo srednji koeficijent prolaska topline k_m . Pod srednjim koeficijentom prolaska topline podrazumijevamo dobivenu vrijednost koja sadrži vrijednosti za drvo i za ostakljenu površinu.

Kao materijal za izradu okvira upotrijebljena je jelovina/smrekovina vlage 10 %, sa udjelom od 24 % u ukupnoj površini ostakljenog okvira. Dimenzije elemenata okvira bile su $60 \times 82 \times 1000 \text{ mm}$.

Konstrukcija ostakljenja je mijenjana. Korištena su stakla 3 i 4 mm debljine, i to kao jednostruko i dvostruko ostakljenje. Razmak između stakala pri dvostrukom ostakljivanju bio je 6, 12, 24 i 30 mm.

Zračni prostor između stakala postignut je umetanjem drvenih letvica na čije je rubove nalijepljena spužvasta traka. Zrak između stakala nije bio "suhi" nego je sadržavao relativnu vlagu kakva je vladala u laboratoriju u trenutku izrade konstrukcije i kretao se između 40 i 55 %. Kondenzacija te vlage i njezin uticaj na k - vrijednost neće biti predmet ovoga rada.

Osim navedenoga, obavljena su mjerenja konstrukcija s tri stakla, i to na:

- vanjskom staklu IZO (4 + 12 + 4) plus zračni sloj od 6 mm i staklo 4 mm debljine

- vanjskom staklu IZO (4 + 12 + 4) plus zračni sloj od 12 mm i staklo 4 mm debljine

Kao što je prikazano na slici 1.

Za izračunavanje k - vrijednosti primijenjene su ove formule:

$$\Phi = k_m A (t_i - t_h) \quad \text{odnosno} \quad k_m = \frac{\Phi}{A(t_i - t_h)}$$

gdje je:

$$\Phi = \frac{Q \cdot 3.6 \cdot 10^6}{\tau} \quad \text{- toplinski tok}$$

Q - potrošnja električne energije (kWh)

τ - vrijeme stacionarnog protoka toplotne energije (sec)

A - površina ispitivanog uzorka (m^2)

k_m - koeficijent prolaska topline pri uvjetima mjerenja ($\frac{W}{m^2 K}$)

t_i - temperatura zraka u toploj komori ($^{\circ}C$)

t_h - temperatura zraka u hladnoj komori ($^{\circ}C$)

$$q = \frac{\Phi}{A} \quad \text{- gustoća toplotnog toka} \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Teoretsko izračunavanje te vrijednosti obavljeno je pomoću sljedeće formule:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_h}}$$

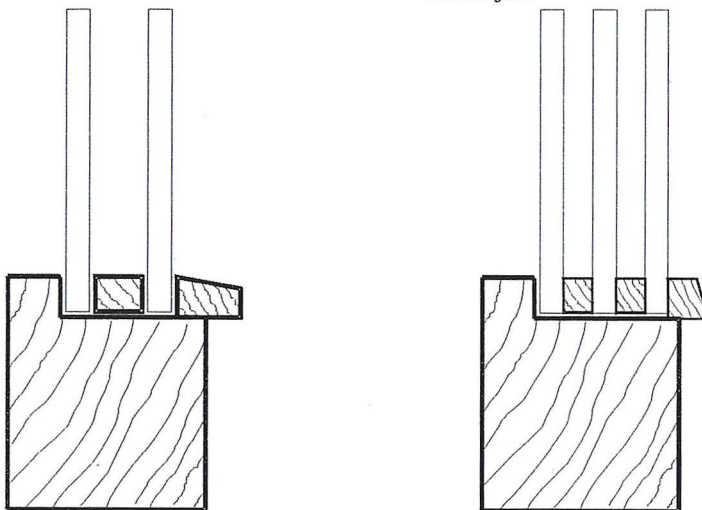
gdje je:

α_i - koeficijent prelaska u toploj komori ($\frac{W}{m^2 K}$)

α_h - koeficijent prelaska u hladnoj komori ($\frac{W}{m^2 K}$)

d - debljina materijala u m

λ - koeficijent toplinske vodljivosti ($\frac{W}{m K}$) materijala



Slika. 1
Prikaz stvaranja zračnog sloja između stakala •
Formation of air space between glasses

**4. REZULTATI
4. RESULTS**

Podaci o mjeranju obrađeni su tako da svaki podatak predodžuje srednju vrijednost od pet mjerenja. Rezultati mjerenja prikazani su na temelju ovisnosti k-vrijednosti ispitivane konstrukcije o promjeni debljine sloja zraka dijagramom na slici 2 i tablicom 1.

**5. ANALIZA REZULTATA
5. DISCUSSION**

Na slici 2. prikazana je ovisnost k-vrijednosti o debljini zračnog sloja između stakala za ostakljeni drveni okvir. Krivulja označena u legendi kao "račun" predodžuje vrijednosti dobivene računskim putem na osnovi tabličnih podataka koeficijentata toplinske vodljivosti za drvo $\lambda = 0,14$, staklo $\lambda = 0,81$ i zrak (vertikalni stup zraka $\lambda = 0,0051d + 0,0153$ za d-debljinu sloja zraka do 40 mm $R^2 = 0,9993$).

S dijagrama je uočljiva mala razlika podataka dobivenih za staklo debljine 3 i 4 mm, što se moglo i očekivati jer je staklo dobar vodič topline u usporedbi sa zrakom.

Ono što upada u oči jest zakonitost koju slijede sve krivulje i koja se neznatno razlikuje na prozorima do 16 mm debljine zračnog sloja. Krivulja dobivena proračunom ima tendenciju strmijeg pada

koeficijenta prolaska u odnosu prema eksperimentalnim podacima.

Svim je krivuljama zajednička nagla promjena tendencije pada k-vrijednosti koja se događa u razmaku od 8 do 10 mm debljine sloja zraka. U tom intervalu nastaje prijelom krivulja, nakon čega koeficijent prolaska topline vrlo malo ovisi o porastu debljine zračnog sloja.

Sa stajališta točnosti prezentiranih rezultata može se reći da je ordinata na slici 2. prikazana s točnosti od 0,5 W/m²K. Detaljnijom analizom spomenutog intervala, s točnošću odčitavanja od 0,1 W/m²K, dobivamo situaciju prikazanu na slici 3.

Sa te je slike vidljivo da, teoretski, prestanak utjecaja toplinske izolacije zraka na k-vrijednost konstrukcije počinje pri 25 milimetarskoj debljini zračnog sloja.

Eksperimentom se utvrđuje da ta vrijednost počinje oko 12 milimetarske debljine zračnog sloja.

Podaci na dijagramu prikazanom na slici 4. i u tablici 1. daju usporedne vrijednosti koeficijenta prolaska topline prikupljenih iz literature i vrijednosti dobivenih mjerenjem u navedenim uvjetima.

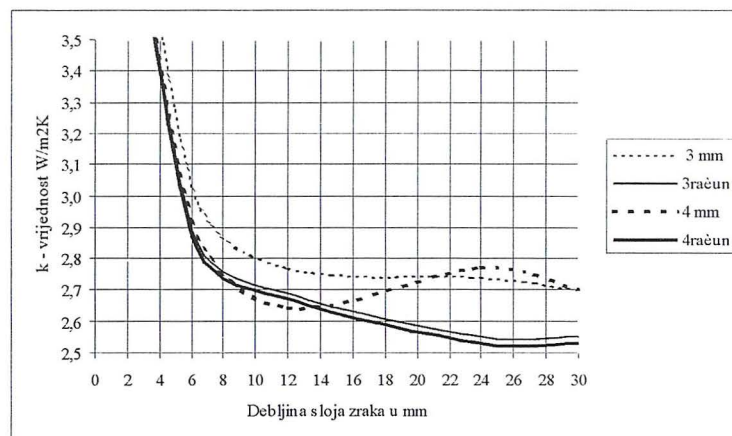
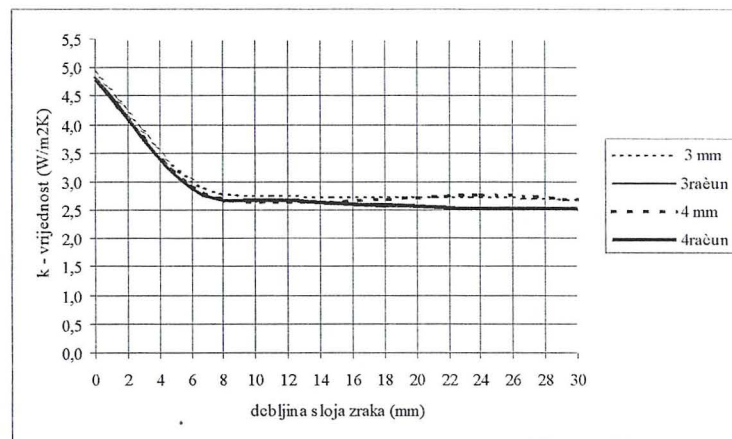
Podaci navedeni pod I. odnose se na IZO - staklo, kao i podaci navedeni pod II. Podaci navedeni pod III. odnose se na ostakljeni drveni okvir (jela/smreka) s udjelom

Slika 2.

Ovisnost k-vrijednosti ostakljenoga drvenog okvira o debljini zračnog sloja između stakala (eksperimentalne i računске vrijednosti)
• Dependence of thermal transmittance (k-value, W/m²K) on dimension of air space between the glass panes (experimental and calculated values)

Slika 3.

Ovisnost k-vrijednosti ostakljenoga drvenog okvira o debljini zračnog sloja između stakala, s točnosti odčitavanja od 0.1 W/m²K (eksperimentalne i računске vrijednosti)
• Relationship between the thermal transmittance and width of the air space between the glass panes, with reading accuracy for heat transfer values of 0.1 W/m²K (experimental and calculated values)



drvene površine od 30 % u odnosu prema ukupnoj površini.

Označeni (zaokruženi) podaci u I. i II. daju vrijednost koeficijenta prolaska topline za dvostruko termoizolacijsko staklo (dva zračna prostora) i pokazuju koliko raste k-vrijednost za istu debljinu zračnog sloja (24 mm), ali uz uvođenje još jednog stakla.

Ti se podaci ne mogu izravno uspoređivati s izmjerenim podacima, ali vidimo da postoji sličnost u ovisnosti prolaska topline o debljini zračnog sloja između stakala.

Na osnovi dobivenih rezultata uočljiva je zakonitost ponašanja k-vrijednosti u intervalu 6 - 30 mm debljine zračnog sloja, kroz ispitivanu konstrukciju (navedena je vrijednost 6 mm zato što debljina 0 mm zračnog sloja znači zapravo jednostruko ostakljenje odnosno samo jedno staklo).

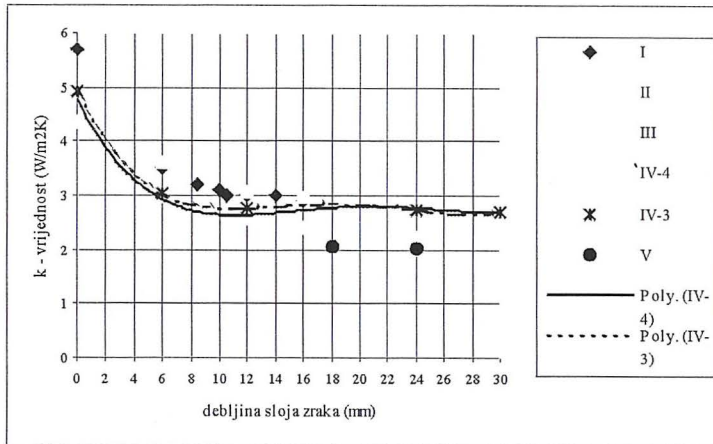
Prema Kleinu (1974), koji prezentira dijagrame Schüle, W. i Wild, E. na kojima su predložene ovisnosti otpora prolasku topline i koeficijent prolaska topline u ovisnosti o debljini zračnog sloja. Iz njih je vidljivo da je ovisnost o otporu prolasku topline do 25 mm debljine zračnog prostora vrlo velika,

nakon čega ostaje približno konstantan do debljine 140 mm, odnosno da je promjena k-vrijednosti u intervalu 0 - 10 mm zračnog stupa brza, a s daljnjim povećanjem debljine sloja zraka (do 25 mm) nema velikog utjecaja na koeficijent prolaska topline (Seifert, 1978).

Slična je ovisnost uočljiva i u ovim istraživanjima, s tim što se debljina zračnog sloja u našim istraživanjima kretala do 30 mm.

Podaci navedeni u Glas-Handbuch, 1995. ne pokazuju promjene u koeficijentu prolaska topline u intervalu 10,5 do 14,0 mm, a prema Wild, E. nema ih do debljine 12 - 15 mm, dok promjene za interval debljine zračnog sloja 10 - 16 mm iznose 0,2 W/m² K.

Povećana konvekcija unutarnjeg zraka koja nastaje između stakala većih razmaka utječe na smanjenje toplinskoizolacijske moći konstrukcije, pa se povećanju k-vrijednosti prišlo formiranjem dvaju zračnih slojeva odnosno ispunom međuprostora medijem veće toplinske izolacije ili ugradnjom stakala sa povećanom toplinskom izolacijom.



Slika 4.

Usporedba izmjerenih k-vrijednosti s podacima iz literature (legenda vezana uz tablicu 1). • Comparison of thermal transmittance values (experimental data and values from professional literature; legend detailed in Table 1).

| Debljina zračnog sloja mm | Vrijednosti koeficijenta prolaska topline ovisno o mjestu nastanka W/m ² K | | | | | | Izvor podatka Source of data |
|---------------------------|---|------|------|------|------|------|--|
| | Thermal transmittance according to data from source W/m ² K | | | | | | |
| Air Space mm | I | II | III | IV-4 | IV-3 | V | |
| 0,0 | 5,7 | | 4,35 | 4,70 | 4,92 | | I - literatura [5] Das Glas-Handbuch, 1995 |
| 6,0 | 3,5 | 3,6 | 2,96 | 2,96 | 3,04 | | II - literatura [2] IFT Rosenheim, k-vrijednosti IZO stakla |
| 8,5 | 3,2 | | | | | | III - literatura [2] Rosenheim, podaci za ostakljeni drveni okvir, staklo IZO učešće drvenog okvira 30 % |
| 10,0 | 3,1 | | | | | | |
| 10,5 | 3,0 | | | | | | |
| 12,0 | 3,0 | 3,07 | 2,57 | 2,60 | 2,74 | | |
| 14,0 | 3,0 | | | | | | |
| 16,0 | 2,9 | 2,97 | 2,4 | | | | |
| 18,0 | | | | | | 2,06 | IV - podaci dobiveni mjerenjem ostakljenoga drvenoga okvira, ispunu vlažni zrak, debljina stakla 3 i 4 mm (IV-3 i IV-4) Experimental values |
| 24,00 | | 2,21 | 1,99 | 2,66 | 2,79 | 2,03 | |
| 30,00 | | | | 2,65 | 2,77 | | |
| | | | | | | | V - podaci za IZO tri stakla i dva zračna sloja [5] |

Tablica 1.

Vrijednosti koeficijenta prolaska topline ovisno o mjestu nastanka W/m²K • Thermal transmittance according to data from source in literature W/m²K

Iako pri ispitivanju nisu postignuti standardni uvjeti prelaska topline (8 odnosno $23.3 \text{ W/m}^2\text{K}$) i nije upotrijebljen suhi zrak kao medij ispune između stakala, dobiveni podaci ne odstupaju znatnije od proračunskih odnosno vrijednosti navedenih u literaturi.

6. ZAKLJUČAK 6. CONSLUSION

Kao zaključak može se ustvrditi da koeficijent prolaska topline ostakljene drvene konstrukcije ne pokazuje znatnije učinke s povećanjem iznad 12 mm debljine sloja zraka. Time su ispitivanja su potvrdila razlog (odnosno opravdanost) većeg broja konstrukcija termoizolacijskog stakla sa zračnim međuprostorom od 12 mm na tržištu u usporedbi s drugim konstrukcijama.

5. LITERARURA: 5. REFERENCES

1. Klein W.: Das Fenster und seine Anschlüsse. Köln-Braunsfeld, 1974.
2. Seifert E.: Warmedurchgangskoeffizient - k von Fenstern. Institut Fuer Fenstertechnik, Rosenheim, 1978.
3. Orel, B.: Suvremeno ostakljivanje - inteligentni prozori. Zgradarstvo, 1997.
4. Orest, F.: Osnove inženjerske termodinamike. Dubrovnik, 1994.
5. *** Glas Handbuch . Flachglas AG1995.