BIBLID 0350–1426 (206) 42:4 p. 53–59

TOPLOTNA
OPTIMIZACIJA TOPLOG KRAJA PROZORA

Dr DRAGAN ŠKOBALJ i dr MILORAD OPSENICA,
Internacionalni univerzitet, Mehmeda Malića i Ibrahima Džinića bb, Brčko, e-mail: internacionalni.univerzitet@gmail.com

Ušteda energije predstavlja glavni zadatak privrede u svetu, kako bi se smanjila emisija CO_2, postigla nezavisnost od fosilnih goriva, izbegla upotreba nuklearne tehnologije i smanjili rizici od nastanka klimatskih promena. Energetski preokret ne može da uspe bez očuvanja energije. Omotač zgrade u ovom slučaju igra ključnu ulogu, zato što modeli inteligentnog omotača zgrade mogu u velikoj meri da utiču na energetski bilans i udobnost života u zgradi. Ali, nije dovoljno da se samo još više poboljšava toplotna izolacija, već je potrebno i da se maksimalno iskoristi solarna energija, uz pomoć pasivnog hlađenja korišćenjem optimiziranih sistema za zastakljenje i kontrole svetla i aktivnog hlađenja pomoću fotonaponskih ćelija i solarne toplotne energije. Dalje poboljšanje moguće je postići optimiziranjem toplotnih karakteristika zaptivenosti kraja (ivice) (vrednost Ψ poboljšanih profila distancera), ili povećavanjem prekrivnog sloja kraja (edge cover), zato što vrednost U_W prozora može da se poboljša za čak 0,2 W/m^{2}K. Time se takođe povećava i temperatura površine blizu kraja stakla i na taj način smanjuje formiranje kondenzata u uslovima kada je spoljašnja temperatura niska. Zdravlje, ugodnost i energetska efikasnost predstavljaju glavne elemente „rešenja zelene zgrade“. U ovom radu su prikazani rezultati merenja minimalnih temperatura na površini za različite tipove prozora i zastakljenih površina (zastakljenja) pri spoljašnjoj temperaturi (t_o = –5 °C) i unutrašnjoj temperaturi (t_i = 20 °C). Energetski efikasne tehnologije imaju dobru međunarodnu reputaciju i tražene su u celom svetu. Ove tehnologije obuhvataju: toplotno optimizirane prozorske profile, zastakljenja, postavljanje komponenata zgrade ili vakuumskih ploča, dobitak energije uz fotonaponske ćelije na zastakljenim površinama, sisteme za senčenje u cilju smanjenja rashladnih opterećenja, kontrolu dnevnog svetla i decentralizovane ventilacije i skladištenje energije kroz fazno promenljive materijale.

KLJUČNE REČI: topli kraj prozora; toplotna optimizacija; termoizolacioni distancer; zastakljenje

WINDOWS WARM EDGE THERMAL OPTIMIZATION

Energy saving is the central task of the World economies in order to reduce CO_2 emissions, to get independent from fossil fuels, avoid nuclear technology and to lower the risks of the climate change. The Energy Turnaround cannot succeed without energy conservation. The building envelope plays a key role here, because inteligent building envelope concepts can massively influence the energy balance and living comfort in a building. But simply further enhancing thermal insulation is not enough, maximum use also needs to be made of solar energy, with the help of passive cooling by optimised glazing systems and light control and active cooling by photovoltaics and solar thermal. Further improvement can be achieved by optimising the thermal performance of the edge seal (Ψ- values of improved spacer profiles), or by increasing the edge cover, because the U_W- value of the window can be improved by up to 0,2 W/m^{2}K. This also increase the surface temperature near the edge of the glazing and thus reduces the formation of condensate when the external temperature is low. Health, comfort and energy efficiency are the basic ingredients of „green building solution“. In this work a presented results of measuring minimal surface temperature for different types of windows and glazing for outside temperature (t_o = – 5 °C) and inside temperature (t_i = 20 °C). Energy efficient technologies have a good international reputation and are requested worldwide. These technologies are: thermal optimised window profiles, glazings, mounting of building components or vacuum panels, energy gaining with glazing photovoltaics, solar shading systems to reduce cooling loads, daylight control, decentralised ventilation and energy storage through phase change materials.

KEY WORDS: windows warm edge; thermal optimization; thermoinsulation spacer; glazing

Uvod

Ušteda energije predstavlja glavni zadatak privrede u svetu, kako bi se smanjila emisija CO_2, postigla nezavisnost od fosilnih goriva, izbegla upotreba nuklearne tehnologije i smanjili rizici od nastanaka klimatskih promena. Energetski preokret ne može da uspe bez očuvanja energije.

Omotač zgrade u ovom slučaju igra ključnu ulogu, zato što modeli inteligentnog omotača zgrade mogu u velikoj meri da utiču na energetski bilans i udobnost života u zgradi. Ali, nije dovoljno da se samo stalno poboljšava toplotna izolacija, već je potrebno i da se maksimalno iskoristi solarna energija, uz pomoć pasivnog hlađenja korišćenjem optimiziranih sistema za zastakljenje i kontrole svetla i aktivnog hlađenja pomoću fotonaponskih ćelija i solarne toplotne energije. Sve veći značaj imaju specijalne mehatronične komponente koje imaju direktnu vezu ili komunikaciju sa sistemima u zgradi i sistemima za grejanje.

Energetski efikasne tehnologije imaju dobru međunarodnu reputaciju i tražene su u celom svetu. Ove tehnologije obuhvataju: toplotno optimizirane prozorske profile, zastakljene površine, postavljanje komponenata zgrade ili vakuumskih ploča, dobitak energije uz fotonaponske ćelije na zastakljenju, sisteme za senčenje u cilju smanjenja rashladnih opterećenja i kontrole dnevnog svetla, decentralizovanu ventilaciju i skladištenje energije kroz fazno promenljive materijale.

Glavne svrhe prozora

Glavne svrhe providnih komponenti, poput prozora, jesu da omoguće prodiranje svetla u zgradu, kako bi se stvorila veza između unutrašnjeg i spoljašnjeg prostora. U isto vreme prozori moraju da obezbede dobru toplotnu izolaciju i dobitak solarne energije u zimskoj sezoni, a da u letnjoj sezoni obezbede zaštitu od pregrevanja. Zahtevi koji se odnose na prozore su sve stroži i danas su na tržištu dostupne trostuke izolacione staklene jedinice. Na prozorska okna se mogu staviti različite prevlake i mogu se koristiti odgovarajuća gasna punjenja u međuprostoru, kako bi se napravio optimalni bilans između transparentnosti/vidljivosti prema spoljašnjoj sredini, solarnog dobitka, toplotne izolacije i zaštite od pregrevanja. Moderni prozori sa trostrukim izolacionim staklenim jedinicama imaju bolje karakteristike koje minimalizuju gubitak toplotne energije. Na izolaciona stakla se mogu staviti odgovarajuće prevlake, kako bi se stvorila odgovarajuća ravnoteža između dobitka solarne energije i zaštite od pregrevanja.

Ako je prozor projektovan za maksimalni solarni dobitak u zimskoj sezoni, preporučuje se da se tokom letnjih meseci koristi zajedno sa sistemima za senčenje.

Ušteda energije

Unapređenje postojećih zgrada u cilju postizanja veće energetske efikasnosti predstavlja najdelotvorniji način smanjenja potrošnje energije. Zamena prozora i/ili zastakljenih površina postavljenih pre 1995. godine igra ključnu ulogu u ovom unapređenju, zbog toga što izolacione staklene jedinice nemaju prevlaku (sloj) toplotne izolacije i *U* vrednost zastakljenja iznosi samo oko 2,7–3,0 W/(m^2/K).

Drugu prednost predstavlja činjenica da novi prozori i izolacione staklene jedinice poboljšavaju udobnost u zatvorenom prostoru, zato što više nema hladne promaje koju izazivaju hladne površine starih staklenih površina ili prozori koji propuštaju vazduh. To znači da je smanjena potrošnja energije, zato što se sobna temperatura može smanjiti, a za svaki stepen smanjene temperature može se uštedeti do 5% energije. Pored *U* vrednosti, ukupna propustljivost energije (g vrednost) stakla mora takođe biti uzeta u obzir, s obzirom na to da je to primarni pokazatelj dobitka solarne energije i **on bi trebalo da bude oko 0,6**. To omogućava jednu vrstu vodiča za razvoj novih prozora, i to:

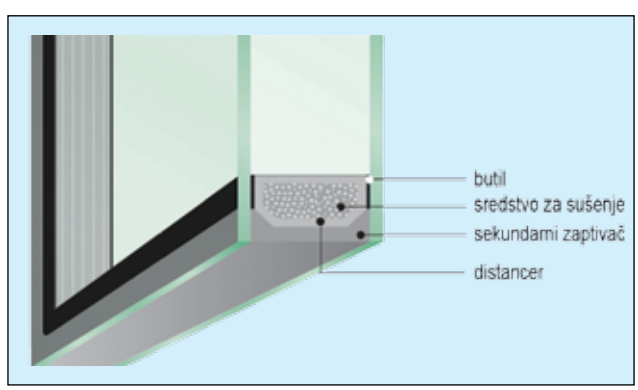
– dalje poboljšanje karakteristika toplotne izolacije i izbegavanje toplotnih mostova na spojevima na zidu,
– optimiziranje toplotne izolacije tokom leta korišćenjem sistema za senčenje,
– korišćenje solarne energije.

Topli kraj

Topli kraj je termin koji se sve češće koristi u vezi sa toplotnoizolacionim staklom i energetski efikasnim sistemima prozora za zaptivanje izolacionog kraja. Da bi se to bolje razumelo, neophodno je više znanja o strukturnim i fizičkim odnosima i normama od onoga što biste najpre pomislili.

Izolaciono staklo je odvojeno od zaptivača kraja pomoću distancera (profila distancera). To omogućava inertni gas na kome se zasniva izolacioni efekat zastakljenja. Konvencionalno, šuplji aluminijumski profili se koriste kao dinstanceri.

Aluminijum predstavlja materijal koji vrlo brzo provodi toplotu i koji ima visoku toplotnu provodljivost. Distancer formira direktnu vezu između staklenog okna u sobi i staklenog okna sa spoljašnje strane. Kada su distanceri u izolacionom staklu napravljeni od aluminijuma, to proizvodi linearni toplotni most prilične dužine na komponenti prozora. Toplota se provodi do spoljašnje sredine, manje-više bez ograničenja, konkretno oko dužine oblasti prelaza od stakla do rama (okvira) svakog prozora. To je očigledno ne samo u energetskom bilansu zgrade, već vodi i smanjenju površinske temperature na kraju (ivici) stakla na sobnoj strani, i taj kraj postaje hladan. Ukoliko površinska temperatura padne ispod temperature tačke rose okolnog vazduha, javlja se kondenzacija, stvarajući manu i u pogledu ugodnosti i u pogledu higijene, na šta se korisnici često žale. Pored rizika po zdravlje stanara, može da se ošteti i ram (okvir) prozora, ukoliko se kondenzacija javlja tokom dužeg vremena.



Slika 1. Šematska struktura dvostrukog izolacionog stakla

U međuvremenu, na tržištu se pojavilo više modela distancera za „topli kraj“. Ovi distanceri sa „toplim krajem“ se sve više koriste u modernim toplotnoizolacionim staklima. Primena toplog kraja je posebno korisna kod trostrukog izolacionog stakla.

Konvencionalni metalni distancer proizveden od aluminijuma ili čelika zamenjen je plastičnim distancerom, koji se u nekim slučajevima može pojačati metalnom strukturom. Toplotna provodljivost plastičnih materijala je znatno manja od one koju imaju čelik ili aluminijum i distancer smanjuje gubitak toplote oko krajeva (ivica) stakla.

Korišćenje prostora „toplog kraja“ ne menja U_g vrednost stakla (to je *U* vrednost u sredini stakla), već *U* vrednost,

koja predstavlja gubitak toplote prozora kao celine (staklo + distancer + ram ili okvir).

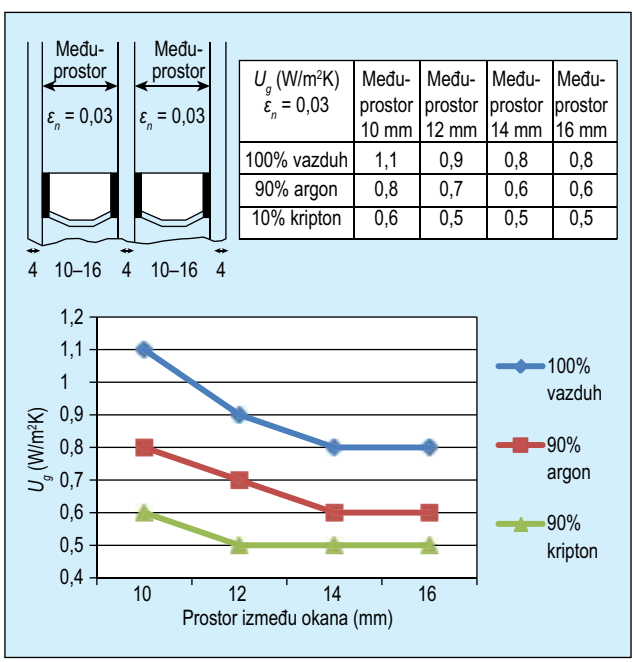
Plemeniti gasovi

Drugo unapređenje je postignuto tako što je vazduh (λ = 0,025 W/mK, ρ = 1,23 kg/m^3), pri temperaturi od 10 °C, to jest, pri standardnim uslovima, zamenjen gasom koji ima manju toplotnu provodljivost, te ograničava provođenje, i veću zapreminsku masu kojom ograničava konvekciju (otežava kretanje). Plemeniti gasovi smanjuju vrednost U_g za između 0,2 i 0,3 W/m^{2}K i koriste se samo u izolacionim staklima sa prevlakom.

U praksi se obično koristi argon [λ = 0,017 W/mK, ρ = 1,70 kg/m^3], a ponekad i kripton [λ = 0,009 W/mK, ρ = 3,56 kg/m^3].

Trostruko staklo

Budući da prostor ispunjen vazduhom povećava izolaciju, sledeća faza je trostruko staklo, to jest zastakljenje napravljeno od tri sloja stakla koji su međusobno odvojeni sa dva međuprostora. To rešenje se koristi kada se zahtevaju vrlo niske vrednosti U_w – niže od 1 W/m^{2}K. Međutim, ovo rešenje ima mane zbog debljine i težine stakla, koji se ne mogu uvek na zadovoljavajući način prilagoditi konvencionalnim tehnikama spajanja.



ε_n = 0,03	Među-prostor 10 mm	Među-prostor 12 mm	Među-prostor 14 mm	Među-prostor 16 mm
100% vazduh	1,1	0,9	0,8	0,8
90% argon	0,8	0,7	0,6	0,6
10% kripton	0,6	0,5	0,5	0,5

Slika 2. Podaci o karakteristikama trostruke izolacione staklene jedinice (IGU)

Trostruka izlaciona staklena jedinica (IGU) čija vrednost U_g iznosi 0,6–0,7 W/(m^{2}K) ustanovljena je kao standardno rešenje zastakljenja za energetski efikasne prozore. Za potrebe prodaje često se pominju vrednosti U_g do 0,5 W/(m^{2}K) za staklene jedinice koje su ispunjene kriptonom ili ksenonom, ali se retko koriste u praksi, jer su ovi inertni gasovi retki i skupi. Slično tome, iako je sa stanovišta toplote korisno da se poveća šupljina između okna na više od 16 mm, to nije preporučljivo, jer povećane razlike u temperaturi mogu da dovedu do pucanja stakla ili propuštanja. U svakom slučaju, vrednost g, koja iznosi 0,6, ili vrednost koja je bolja od nje, važna je kako bi se obezbedilo da se ne smanji solarni dobitak. U ovoj fazi, nažalost, nije moguće predvideti kada će vakuumsko staklo biti spremno za tržište, te nema mnogo smisla da se prave projekti prozora za ovaj tip stakla (zastakljenja).

Do danas je zaptivanje izolacionog kraja bila oblast koja je nedovoljno razmatrana, a ima veliki uticaj – njeno toplotno poboljšanje sa modernim distancerima sa „toplim krajem“ u svakom slučaju predstavlja ekonomičnu meru za uštedu energije, kada je reč o prozorima i o fasadama. „Topli kraj“ pruža vredan doprinos povećanju energetske efikasnosti zgrade, tako što smanjuje koeficijent prenosa toplote (U_w).

Trostruko staklo je sada ponovo u modi, naročito u pasivnim kućama, gde je potreban visok stepen toplotne izolacije.

Kondenzacija na staklenim površinama

Na staklu se najčešće mogu javiti sledeće tri vrste kondenzacije:

– Površinska kondenzacija na unutrašnjoj strani nastaje ako je relativna vlažnost u prostoriji velika i/ili ako je temperatura na unutrašnjoj strani stakla niska, pri uobičajenim uslovima u prostoriji (grejana zgrada bez konkretnog izvora vlage) – ova vrsta kondenzacije vrlo retko nastaje kada postoji dvostruko staklo sa vrhunskim karakteristikama i sa toplotnim distancerom.
– Površinska kondenzacija na spoljašnjoj strani može ponekad da nastane u zoru na dvostrukom staklu vrhunskuh karakteristika, ali samo nakon vedrih, mirnih noći, pod sledećim uslovima: s obzirom na toplotnu izolaciju visokog učinka dvostrukog ili trostrukog stakla, spoljašnje okno se hladi do tačke kada se na spoljašnjoj strani formira kondenzacija. To je privremena pojava i dokazuje izolacionu efikasnost stakla.
– Kondenzacija unutar dvostruke staklene jedinice – delotvornost sredstva za sušenje i vodootporne barijere određuje vek trajanja stakla. Ako sredstvo za sušenje prestane da bude delotvorno ili ukoliko zaptivač više ne obezbeđuje hermetičnost, kondenzacija će se stvoriti unutar staklene jedinice i ona se mora zameniti.

Slika 3. Kondenzacija na unutrašnjoj strani stakla je često razlog za brigu

Pored temperature, vlažnost vazduha u radnoj ili dnevnoj sobi predstavlja jedan od najvažnijih elemenata koji utiču na atmosferu pogodnu za život i rad. Ukoliko je sadržaj vlage u prostoriji nizak, respiratorni trakt se suši i to izaziva stres. Visok sadržaj vlage je takođe nepogodan. Idealne granične vrednosti vlažnosti su između 30% i 65% relativne vlažnosti.

Sa druge strane, ljudi ne žele da im se prozori magle kada je vreme hladno. Pitanje je pod kojim uslovima se javlja zamagljenost?

Ako se vazduh hladi i apsolutna vlažnost vazduha se ne menja, u jednom trenutku, na određenoj temperaturi, vazduh postaje zasićen. Na sledećoj tački hlađenja, vazduh stvara kondenzaciju, to jest, višak vlažnosti se odvaja na predmetu u obliku rose, te se ova temperatura i naziva temperatura tačke rose. Isti uslovi su i na površini staklene ploče, tako da, ukoliko se temperatura stakla snizi

(tokom zime) zbog hladnog spoljašnjeg vazduha, pod temperaturom zasićenog vazduha (u prostoriji koja se greje), to jest, ukoliko se prekorači tačka rose, vazdušna para će se kondenzovati na unutrašnjoj površini stakla i u tom slučaju staklo će se zamagliti. Da bi se sprečila kondenzacija na površinama okrenutim ka prostoriji, neophodno je da sobna temperatura bude iznad vrednosti dobijene sledećom jednačinom:

$$t_{dp} = t_i - (t_i - t_o)\frac{U_g}{h_i}$$

gde su:
t_{dp} – temperatura tačke rose za vazduh u prostoriji, °C,
t_i – temperatura vazduha u prostoriji, °C,
t_o – temperatura spoljašnjeg vazduha, °C,
U_g – koeficijent prenosa toplote izolacione staklene jedinice (IGU), W/m^{2}K,
h_i – koeficijent prelaza toplote sa vazduha na unutrašnju stranu stakla (iz prostorije), W/m^{2}K.

Ako je koeficijent prenosa toplote za termoizolaciono staklo relativno mali, to jest ako je hlađenje slabije, kondenzacija se javlja samo pri vrlo niskoj temperaturi, a to da li će se javiti zamagljenost, zavisi od vlažnosti vazduha u prostoriji.

Izračunavanje vrednosti U_w

U standardu ISO 10077 opisan je pojednostavljen metod za izračunavanje koeficijenta prenosa toplote za U_w prozora na osnovu vrednosti za ram (okvir) U_f, vrednosti za staklo U_g i vrednosti koeficijent prenosa toplote Ψ_g koji se odnosi na dužinu za prostor oko spoja stakla/rama (okvira). U drugom delu standarda detaljno je objašnjeno kako se izračunavaju pojedinačne vrednosti U_f i Ψ_g primenom numeričke metode [1, 2].

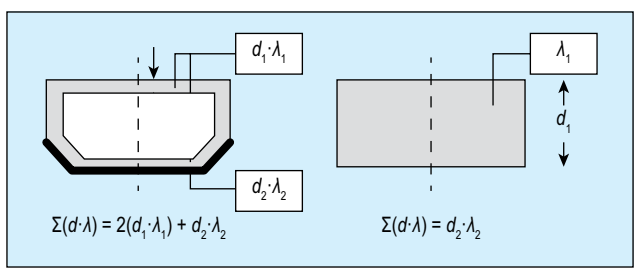
Da bi se pojednostavilo izračunavanje vrednosti U_w, u prvom delu se koriste tabelarne vrednosti ili na drugi način određene početne vrednosti za U_f i U_g. Dve tabele vrednosti date su u Aneksu E prvog dela za koeficijent prenosa toplote vrednosti Ψ koji se odnosi na dužinu oblasti spoja staklo/ram (vrednosti psi).

1) tabela E1 sa vrednostima koeficijenta prenosa toplote Ψ_g koji se odnosi na dužinu, za tipične distancere napravljene od aluminijuma i čelika,
2) tabela E2 sa vrednostima koeficijenta prenosa toplote Ψ_g koji se odnosi na dužinu, za distancere sa poboljšanim toplotnim karakteristikama.

To da li distancer ima poboljšane toplotne karakteristike, određuje se na osnovu definicije date u Aneksu E u skladu sa sledećom jednačinom:

$$\Sigma\,(d \cdot \lambda) \le 0{,}007\ \text{W/K}$$

Ovde je uzet u obzir samo distancer, a ne ceo zaptivač izolacionog kraja, uključujući i zaptivnu smesu. Glavni pravac toplotnog toka preko distancera u postavljenom stanju jeste od unutrašnjeg ka spoljašnjem staklenom oknu, što znači pri pravim uglovima na longitudinalni pravac profila distancera kroz one zidove profila ili delove distancera koji spajaju unutrašnjost i spoljašnjost. Debljina d zidova ovde je normalna (vertikalna) na glavni pravac toplotnog toka, pomnožena odgovarajućom toplotnom provodljivošću λ materijala i sabrana. Na slici 4 je prikazan primer proračuna – ako je rezultat manji od ili jednak vrednosti 0,007 W/K, sistem distancera se može opisati kao toplotno poboljšan, ili, kratko, kao „topli kraj“.



Slika 4. Primer određivanja toplotne provodljivosti distancera

Numerički metod je opisan u drugom delu standarda ISO 10077. Ovaj metod omogućava da se izračunaju koeficijent prenosa toplote rama (okvira) U_f i koeficijent prenosa toplote Ψ_g koji se odnosi na dužinu veze između stakla i rama (okvira), i to za pojedinačni sistem rama (okvira) uz pomoć kompjuterskih programa sa konačnim elementima, tako što se radi modeliranje za sve podatke.

I uz pojednostavljenu metodu prema prvom delu i uz detaljni proračun prema drugom delu, početni podaci se integrišu kako bi se dobila vrednost U_w prozora pomoću sledeće formule:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f}$$

Koeficijent prenosa toplote U_g odnosi se na centralnu oblast stakla, na koju ne utiče toplotni most na kraju (ivici). Koeficijent prenosa toplote U_f opisuje samo ram (okvir) bez ugrađenog stakla.

Ψ_g predstavlja toplotu koja se provodi kao posledica interakcije okvira, stakla i distancera, i suštinski je određuje dejstvo toplotnog mosta distancera. Vrednost psi Ψ_g, stoga, opisuje fizički proces na tački preno-

Tabela 1. Termoizolacioni distancer (testovi, norme, specifikacije)

Broj	Test	Norme	Specifikacije
10	Baza (osnova) – sastav profila distancera	ISO 527-2	Baza: SAN (stirol akril nitril kopolimer) sa staklenim vlaknima: 35 ± 2% λ = 0,16 W/mK; Youngov modul elastičnosti = 12000 MPa apsorpcija vode pri 23 °C < 0,3%
20	Boja profila – sastav distancera	ISO 105 B02	12 boja (bela, siva, crna, tamno braon, svetlo braon …) Postojanost na svetlost: 8
30	Folije profila – sastav distancera	EN 573-3 EN 547-4 & EN 546-4	Distancer: Gasna barijera u alumijumskoj foliji debljine 30 µm λ = 160 W/mK Distancer: Gasna barijera u foliji od nerđajućeg čelika debljine 10 µm λ = 15 W/mK
40	UV trajanje Obojeni proizvod	ISO 105 B0 02 ISO 4892 2	Posle 4500 h starenja: varijacija boje ΔE < 1,5 Bez vizuelne promene
50	Otpornost na pritisak	Interni test	1,2 MPa na strani distancera 16 mm 480 N/400 mm^2
60	Koeficijent toplotnog širenja	DIN 53752	25 · 10-6 ± 2,5 K–1
70	Zamagljivanje & isparljivi gas	EN 1279-6	Bez zamagljivanja u vizuelnoj oblasti: Gubitak težine < 0,5%
80	Drugi lepljivi zaptivač	EN 1279-6	Prekid spoja, sila pri lomu ≥ 0,3 MPa sa PU, PS & silikon
90	Apsorber vlage: Ø 7 mm		Distancer od 16 mm: 42 g/m ± 5 Distancer od 12 mm: 28 g/m ± 5
100	Otpornost na toplotu		Maksimalna temperatura korišćenja = 90 °C

Tabela 2. Rezultati merenja minimalne temperature na površini prozora za različite vrste profila PVC-U i stakla za spoljašnje temperature (t_o = –5 °C) i unutrašnje temperature (t_i = 20 °C) [5]

PVC – U prozori	U_f = 1,30 W/m²K U_g = 1,40 W/m²K		U_f = 1,30 W/m²K U_g = 1,0 W/m²K		U_f = 1,00 W/m²K U_g = 1,0 W/m²K		U_f = 1,30 W/m²K U_g = 0,70 W/m²K		U_f = 1,00 W/m²K U_g = 0,70 W/m²K	
Sistemi distancera	Aluminijum	SAN + folija od nerđajućeg čelika	Aluminijum	SAN + folija od nerđajućeg čelika	Aluminijum	SAN + folija od nerđajućeg čelika	Aluminijum	SAN + folija od nerđajućeg čelika	Aluminijum	SAN + folija od nerđajućeg čelika
Vrednost psi, Ψ_g, [W/mK]	0,068	0,029	0,077	0,034	0,077	0,034	0,075	0,032	0,075	0,032
Prozor, U_w, sa 2 krila [W/mK]	1,54	1,44	1,28	1,18	1,19	1,08	1,07	0,96	0,98	0,87
Minimalna temperatura na površini [°C]	7,5	11,3	7,8	12	7,8	12	9	13	9	13
t_c – temperatura spoljašnjeg vazduha sa kondenzacijom na unutrašnjem staklu	–1	–13	–3	–14	–3	–14	–5	–19	–5	–19

Geometrija prozora: prozor sa 2 krila. Ukupna površina 1,23 m × 1,48 m: A_w = 1,82 m². Površina rama: A_f = 0,69 m². Dužina strane (ivice) stakla: l_g = 6,84 m. Spoljšanja temperatura: t_o = –5 °C. Unutrašnja temperatura: t_i = 20 °C. Relativna vlažnost unutrašnjeg vazduha: φ = 50%.

sa od stakla do okvira i, prema tome, ne predstavlja samo jedan nepromenljivi parametar za svaki sistem dinstancera.

Jednostavna tabela vrednosti psi E2 u prvom delu standarda ISO 10077 ne zadovoljava uvek zahtev proizvođača prozora za najboljim vrednostima – tabelarne vrednosti za pojednostavljene metode leže na bezbednoj strani. Međutim, detaljan proračun za pojedinačni slučaj u skladu sa drugim delom, mnoge proizvođače prozora bi suočio sa skoro nerešivim problemom izračunavanja varijanti sistema prozora sa svim mogućim sistemima stakla i sistemima distancera. Iz tog razloga, primena takozvanih reprezentativnih vrednosti psi ustanovljena je tokom prethodnih godina.

Vrednost psi kao kriterijum za zaptivanje kraja (ivice)

Kao što je već opisano, vrednost psi Ψ*g* predstavlja količinu koja karakteriše dejstvo toplog kraja. Ovaj linearni koeficijent prenosa toplote nalazi se u formuli za izračunavanje vrednost U_w.

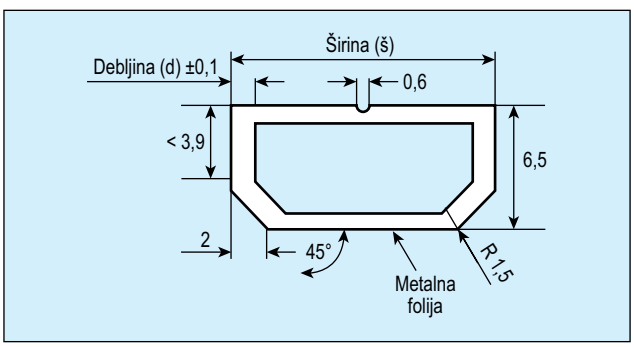
Karakteristike sistema „toplog kraja“ mogu se proceniti i različiti sistemi se mogu uporediti prema vrednostima psi. Međutim, razlika između „toplog kraja“ i konvencionalnog aluminijumskog distancera znatno je veća nego razlika između sistema „toplog kraja“.

Uniformno predstavljanje sistema sa proverenom početnom pretpostavkom stvara transparentnost i pojednostavljenje za primenu u širokim oblastima.

Reprezentativan sistem vrednosti psi može se koristiti kako bi se pojednostavilo određivanje vrednosti U_w za obične sisteme prozora, budući da pružaju dovoljno precizne rezultate.

U toku je kontinuirani razvoj u proizvodnji prozorskih ramova (okvira) i profila distancera za izolaciona stakla, koja su sa toplotnog stanovišta još bolja. Profili ramova (okvira) opisani u standardu ISO 10077-2 stoga više nisu ažurirani i moraju da budu zamenjeni novim. U tu svrhu je izvršena procena tipičnih sistema ramova (okvira) od različitih proizvođača, i napravljeni su novi reprezentativni profili ramova (okvira) za metal prekinutim toplotnim mostom, plastikom i drvetom/aluminijumom.

Drveni ram (okvir) je ostao nepromenjen. Novi reprezentativni profili ramova (okvira) sa standardnim aluminijumskim distancerima daju vrednosti koje su utvrđene u standardu ISO 10077-1; 2004, tabeli E.1. Novi profili su dostupni u



Distancer od nerđajućeg čelika, debljina = 10 µm, λ = 15 W/mK; Distancer od aluminijuma, debljina = 10 µm, λ = 160 W/mK; Opšte tolerancije: linearna ± 0,5 µm, na uglovima ± 2°; Materijal: SAN 35% stakleno vlakno, λ = 0,16 W/mK, Boja: UV stabilna

Distancer	8	10	11	12	14	15
w (mm)	7,5	9,5	10,5	11,5	13,5	14,5
t (mm)	0,9	0,9	1	1	1	1
Distancer	16	18	20	22	24	27
w (mm)	15,5	17,5	19,5	21,5	23,5	26,5
t (mm)	1	1	1	1	1	1

Slika 5. Termoizolacioni distancer (dimenzije) [3]

obliku crteža i u elektronskoj formi i ubuduće se moraju koristiti kao osnova kada se navode reprezentativne vrednosti psi sistema za zaptivanje krajeva (ivica).

Glavni uslovi prilikom određivanja reprezentativnih vrednosti psi i tolerancije za staklo i zaptivanje kraja jesu sledeći:

– dubina postavljanja stakla je 15 mm; normalne varijacije u dubini postavljanja stakla od 2 do 3 mm ne menjaju u velikoj meri vrednosti psi;
– dodatna pokrivka od polisulfida debljine 3 mm; takođe se primenjuju vrednosti psi za poliuretan i silikon, zbog manje provodljivosti toplote ovih materijala;
– debljina stakla od 4 mm; deblje staklene ploče daju veće vrednosti psi;
– vrednost U_g od 1,1 W/m²K (dvostruko staklo) ili od 0,7 W/m²K (trostruko staklo). Odstupanja u koeficijentu prenosa toplote od 0,1 W/m²K imaju samo neznatan uticaj na vrednosti psi. Utvrđene vrednosti psi su na bezbednoj

Tabela 3. Rezultati merenja minimalne temperature na površini za različite vrste prozora i stakla za spoljašnju temperaturu (t_o = –5 °C) i unutrašnju temperaturu (t_i = 20 °C) [6]

DISTANCER – TOPLOTNE KARAKTERISTIKE RAZLIČITIH VRSTA PROZORA								
	Dvostruke staklo				Trostruko staklo			
Sistem distancera	Aluminijum	Nerđajući čelik	SAN + Al folija	SAN + folija od nerđajućeg čelika	Aluminijum	Nerđajući čelik	SAN + Al folija	SAN + folija od nerđajućeg čelika
Drveni prozori: vrednost okvira: vrednost stakla:	U_f = 1,4 W/m^{2}K U_g = 1,1 W/m^{2}K				1,4 W/m^{2}K 0,7 W/m^{2}K			
Vrednost psi, Ψ_g [W/mK]	**0,081**	**0,053**	**0,047**	**0,032**	**0,086**	**0,052**	**0,046**	**0,031**
prozor, U_w 1 okvir [W/m^{2}K]	1,4	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
prozor, U_w 2 okvira [W/m^{2}K]	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1
Minimalna temperatura na površini* [°C]	6,5	9,2	10,0	11,2	8,2	11,2	11,7	13,2
PVC prozori: vrednost okvira: vrednost stakla:	U_f = 1,2 W/m^{2}K U_g = 1,1 W/m^{2}K				1,2 W/m^{2}K 0,7 W/m^{2}K			
Vrednost psi, Ψ_g [W/mK]	**0,077**	**0,051**	**0,045**	**0,034**	**0,075**	**0,048**	**0,042**	**0,032**
prozor, U_w 1 okvir [W/m^{2}K]	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	0,9
prozor, U_w 2 okvira [W/m^{2}K]	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
Minimalna temperatura na površini* [°C]	7,7	10,2	10,7	12,0	9,0	11,5	12,0	13,0
Drveni-Al prozori: vrednost okvira: vrednost stakla:	U_f = 1,4 W/m^{2}K U_g = 1,1 W/m^2 K				1,4 W/m^{2}K 0,7 W/m^{2}K			
Vrednost psi, Ψ_g [W/mK]	**0,092**	**0,058**	**0,052**	**0,035**	**0,097**	**0,058**	**0,051**	**0,033**
prozor, U_w 1 krilo [W/m^{2}K]	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0
prozor, U_w 2 krila [W/m^{2}K]	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1
Minimalna temperatura na površini* [°C]	5,0	8,2	9,0	10,5	7,2	10,5	11,0	12,5
Aluminijumski prozori: vrednost okvira: vrednost stakla:	U_f = 1,6 W/m^{2}K U_g = 1,1 W/m^{2}K				1,6 W/m^{2}K 0,7 W/m^{2}K			
Vrednost psi, Ψ_g [W/mK]	**0,111**	**0,068**	**0,060**	**0,039**	**0,111**	**0,063**	**0,056**	**0,034**
prozor, U_w 1 krilo [W/m^{2}K]	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
prozor, U_w 2 krila [W/m^{2}K]	1,7	1,5	1,5	1,4	1,5	1,3	1,3	1,2
Minimalna temperatura na površini* [°C]	7,2	10,2	10,7	12,0	9,2	12,2	12,7	14,0

Određivanje reprezentativne vrednosti psi za profile okvira prozora
Vrednost psi: linearna toplotna provodljivost na kraju stakla
t_o [W/mK] da zadovolji ISO 10077-2, 10/2003
*Odgovara uslovima kraja navedenim u ISO 10077
Spoljašnja temperatura t_o: –5 °C
Unutrašnja temperatura t_i: + 20 °C
Relativna vlažnost unutrašnjeg vazduha: φ = 50%

Geometrija prozora, prozor	1 okvir	2 okvira
Ukupna površina: [1,23 × 1,48 m]	A_w = 1,82 m^2	A_w = 1,82 m^2
Površina okvira:	A_f = 0,55 m^2	A_f = 0,69 m^2
Dužina kraja stakla:	l_g = 4,54 m	l_g = 6,84 m

strani za veće vrednosti *U* (lošija toplotna izolacija) stakla i rama (okvira).

Izmereni rezultati su dati za razmak u oknu od 12 mm i 16 mm. Ekvivalentna temperatura za druge distancere okna može se odrediti interpolacijom.

Sistemi distancera su modelirani [4] u pogledu geometrije i materijala u skladu sa informacijama koje su dobijene od proizvođača. Toplotna provodljivost metalnih materijala je upoređena sa standardima na osnovu uverenja o testiranju.

Vrednosti toplotne provodljivosti nemetalnih materijala korišćene su u skladu sa informacijama koje su dobijene od proizvođača i verifikovane su na osnovu uverenja o testiranju.

Vrednosti temperature (*t*) za četiri reprezentativna profila rama (okvira) određene su u svakom slučaju korišćenjem dvostrukog izolacionog stakla 4 + 16 + 4 low e (staklo niske emisivnosti) sa U_g = 1,1 W/m^{2}K i trostrukog izolacionog stakla 4 low e + 12 + 4 + 12 + 4 low e (staklo niske emisivnosti) sa *Ug* = 0,7 W/m^{2}K.

Da bi se izbegle greške pri zaokruživanju, vrednosti psi su date sa trećom decimalom – 0,001 W/mK. Metoda koja se koristi za aritmetičko određivanje vrednosti psi ima opšte prihvaćenu preciznost od ± 0,003 W/mK. Prema tome, razlike u vrednosti psi koje su manje od 0,005 W/mK nisu značajne i primetne su samo u izuzetnim slučajevima kada se izračunava koeficijent prenosa toplote prozora (vrednost U_w) usled zaokruživanja.

Zaključak

Smanjenje potrošnje energije za 2/3 u zgradi ekonomski je izvodljivo sa tehnologijom koja je danas dostupna. Prozori, fasade i stakla će se i dalje razvijati tako da postanu kom-

ponente inteligentne zgrade, omogućavajući automatsko podešavanje prema spoljašnjim klimatskim faktorima, zahtevima korisnika i sistemima u zgradi, poput naše kože i odeće, tako da će omotač zgrade u budućnosti obezbeđivati dobrobit stanara/korisnika zgrade uz minimalnu potrošnju energije.

Dalje poboljšanje se može postići optimiziranjem toplotnih karakteristika zaptivača kraja (ivice) (vrednosti Ψg poboljšanih profila distancera), ili povećavanjem pokrivanja kraja od npr. 25 mm. Time se takođe povećava površinska temperatura blizu kraja stakla i, na taj način, smanjuje stvaranje kondenzata kada je spoljašnja temperatura niska.

Toplotna provodljivost plastičnog materijala je znatno bolja od toplotne provodljivosti čelika, nerđajućeg čelika i aluminijuma, i distancer smanjuje gubitak toplote oko krajeva (ivica) stakla.

Pored pitanja ekonomske efikasnosti, koje je podložno promenama svake godine jer cena energije raste, potrebno je da se pozabavimo pitanjem održivosti, jer priroda ne poznaje finansijske parametre, već samo sopstvenu ravnotežu energije.

Literatura

[1] *** ISO 10077-1: 2006. Thermal performance of windows, doors and shutters calculation of thermal transmittance U_w, Part 1. General.

[2] *** ISO 10077-1: 2006. Thermal performance of windows, doors and shutters calculation of thermal transmittance U_w, Part 2. Numerical method for frames.

[3] *** ISO 10088-1: 2005. Stainless steels, Part 1. List of stainless steels.

[4] *** Vujić Valjevo, 2010, Internal Documentation, Psi value for windows, research project for calculating the length – related heat transfer coefficient Ψ_g (psi value) of the frame/glass edge/glass transition and comparison with experimental data.

[5] *** Vujić Valjevo, 2012, Internal Documentation, Results of measuring minimal surface temperature for different types of windows and glazings.

[6] *** Vujić Valjevo, 2012, Internal Documentation, Results of measuring minimal surface temperature for different kinds of PVC-U profiles and glazing.

kgh

Bulevar Arsenija Čarnojevića 52a, lok.3
11070 Novi Beograd
Tel : 011 30 18 118, 30 15 505
Fax : 011 30 18 120

elcomtrade
DISTRIBUCIJA | MONTAŽA
INŽENJERING | SERVIS

www.elcomtrade.com