

# Uticaj ugradbene pozicije polivinilhloridskih prozorskih elemenata fasadnog omotača stambenih zgrada na temperaturu unutrašnje površine zida

Stefan Petrović<sup>1</sup>, Biljana Antunović<sup>2</sup>, Darija Gajić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gebrüder Schneider Fensterfabrik GmbH & Co. KG, Štimpfah, SR Njemačka, <sup>2</sup>Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska

[stefan.mitrov@protonmail.com](mailto:stefan.mitrov@protonmail.com), [biljana.antunovic@aggf.unibl.org](mailto:biljana.antunovic@aggf.unibl.org), [darija.gajic@aggf.unibl.org](mailto:darija.gajic@aggf.unibl.org)

**Sažetak**—Predmet ovog istraživanja je uticaj ugradbene pozicije polivinilhloridskih prozorskih elemenata fasadnog omotača stambenih objekata, na prosječnu i minimalnu temperaturu unutrašnje površine zida, kao i posljedično, mogućnost stvaranja površinske kondenzacije i buđi. Analiza je urađena pomoću softvera Flixo 8.2.1180.1 sa aspekta promjene rasporeda temperatura kroz konstrukciju zida, zasićenja vazduha vodenom parom i temperaturni faktor u uslovima sjeverne i južne klimatske oblasti, definisanim u skladu sa pravilnicima koji regulišu energetska efikasnost zgrada u Republici Srpskoj. Razmatrani su polivinilhloridski okviri prozora sa ugradnjom na tri pozicije fasadnog zida, koja je preuzeta iz Tipologije stambenih zgrada Bosne i Hercegovine, a projektovani u skladu sa katalogom dobro riješenih toplotnih mostova bosansko-hercegovačkog standarda. Rezultati analize ukazuju na to da, u testnim uslovima, ugradbena pozicija prozora može uticati na prosječnu temperaturu unutrašnje strane zida, te na mogućnost formiranja površinske kondenzacije i buđi.

**Ključne riječi:** ugradbena pozicija; površinska kondenzacija; buđ; temperatura unutrašnje površine zida; simulacija

## I. UVOD

Na objektima porodičnog stanovanja, u zavisnosti od arhitektonske prakse i klimatske zone, površine prozora na fasadnom zidu predstavljaju značajnu površinu. Stoga za zadržavanje pozitivnih energetskih karakteristika, trajnosti i funkcionalnosti zgrade potrebno je da se za svaki ugrađeni prozor obezbijedi tehnički prikladna instalacija i integracija u fasadni omotač [1]. Imajući u vidu klimatske promjene i rastuće cijene energenata na globalnom nivou, države su propisale pravilnike koji definišu zahtjeve kako bi se unaprijedila energetska efikasnost zgrada [2]. Tako su tehničkim zahtjevima za racionalnu upotrebu energije i toplotnu zaštitu u zgradama propisani, između ostalih, i najveći dopušteni koeficijent prolaza toplote pojedinih građevinskih dijelova omotača (U-koeficijenti), smanjenje uticaja toplotnih mostova na omotaču, te sprječavanje površinske kondenzacije vodene pare [3]. Fokusirajući se na prethodne tehničke zahtjeve, koji se neposredno odnose i na prozorske elemente, u ovom radu su prikazani uticaji ugradbene pozicije prozora na temperaturu unutrašnje strane zida, a samim tim i na energetske karakteristike zgrade. U skladu sa pomenutim zahtjevima, za klimatske oblasti sjever i

jug, uz pomoć softvera Flixo 8.2.1180.1. [4], simulirane su tri ugradbene pozicije. Kako bi simulacije odgovarale stvarnim uslovima upotrebe zgrade i kako bi iste imale praktičnu primjenu prilikom sprječavanja mogućih negativnih pojava, prozori su projektovani sa ugradnjom na tri pozicije fasadnog zidnog omotača. Ovaj tip omotača je karakterističan za arhitekturu porodičnog stanovanja u urbanim i ruralnim regionima u Bosni i Hercegovini, građenim u od 2014. godine [5].

Analiza dobijenih simuliranih podataka data je u vidu tabelarnog prikaza, uticaja ugradbene pozicije na prosječnu temperaturu unutrašnje strane zida neposredno pored prozora, kao i na mogućnost stvaranja buđi na osnovu dobijene vrijednosti temperaturnog faktora.

## II. METODOLOGIJA

### A. Određivanje energetskih karakteristika prozora

Za simuliranje uticaja ugradbene pozicije na temperaturu unutrašnje površine zida odabrani su polivinilhloridni (u daljem tekstu PVC) prozori, kao jedni od najčešće ugrađivanih i prisutnih na prostoru Bosne i Hercegovine [5]. Pri tome, ovaj tip prozora je konstruisan tako da ispunjava uslove propisane u skladu sa Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada Republike Srpske [3]. Ukupan koeficijent prolaza toplote prozora  $U_w$ , izračunat je u skladu sa standardom BAS EN ISO 10077-1 [6] :

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi}{A_g + A_f} \quad (1)$$

gdje je  $U_w$  (W/(m<sup>2</sup>K)) ukupan koeficijent prolaza toplote prozora,  $A_g$  (m<sup>2</sup>) površina stakla,  $U_g$  (W/(m<sup>2</sup>K)) koeficijent prolaza toplote stakla,  $A_f$  (m<sup>2</sup>) površina rama,  $U_f$  (W/(m<sup>2</sup>K)) koeficijent prolaza toplote rama,  $l_g$  (m) dužina spoja između stakla i rama i  $\Psi$  (W/mK) linearni koeficijent toplotnih mostova na spoju stakla i rama.

Koeficijent prolaza toplote je izračunat za referentne dimenzije jednokrlnog prozora širine 1230 mm i visine 1480 mm [7]. Uzeta je vrijednost koeficijenta prolaza toplote stakla  $U_g = 1,10$  W/(m<sup>2</sup>K) koje je dvostruko vakumirano, punjeno inertnim gasom, konstruisano u konfiguraciji 4 Flot + 16 + 4 Flot, ukupne dimenzije paketa 24 mm, sa termički poboljšanim distancerom koeficijenta linijskih toplotnih

gubitaka od  $\psi = 0,06 \text{ W/(mK)}$  [3]. Kako bi se dobile ukupne vrijednosti koeficijenta prolaza toplote prozora  $U_w$ , dovoljne da ispunjavaju minimalne zahtjeve  $U_w = 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  za oblast sjever, korišteni su profili rama i krila prozora konstruisani od strane autora, a ne profili koji su komercijalno dostupni. Koeficijenti prolaza toplote kroz profile rama i krila  $U_f$ , prikazani na slici 1, računati su koristeći metodologiju definisanu u standardu ISO 10077-2 [8].

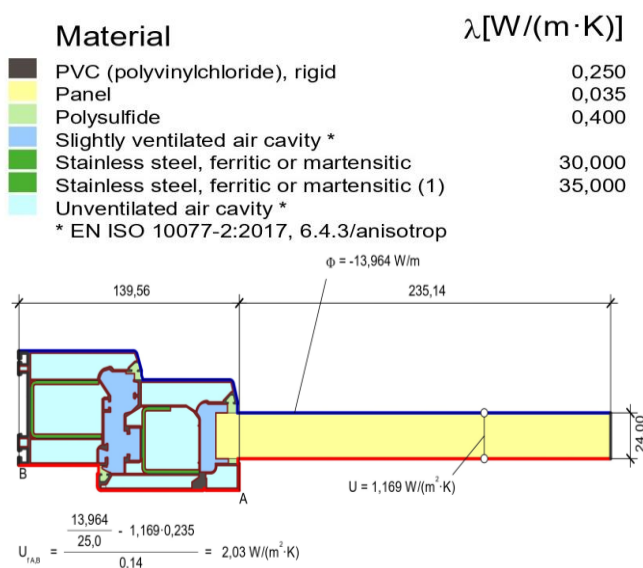
$$U_f = \frac{\frac{\Phi}{\Delta\theta} - U_p \cdot b_p}{b_f} \quad (2)$$

gdje je  $U_f \text{ (W/(m}^2\text{K))}$  koeficijent prolaza toplote kroz ram,  $\Phi \text{ (W)}$  ukupan toplotni tok kroz ispitivani uzorak,  $\Delta\theta \text{ (K)}$  temperaturna razlika između unutrašnje i spoljašnje strane rama,  $U_p$  vrijednost ispitne ploče ("Panel"),  $b_p \text{ (m)}$  širina ispitne ploče,  $b_f \text{ (m)}$  širina dijela rama koji se ispituje.

U ovom proračunu, umjesto prethodno definisanog stakla, koristi se panel sa visoko-izolacionim toplotnim svojstvima  $\lambda = 0,035 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ , kako bi se eliminisali uticaji linearnih toplotnih gubitaka distancera. Proračunom odabranog PVC prozora dobijeno je da je  $U_w = 1,59 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Temperaturni uslovi za oblast jug su  $\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$  i za oblast sjever  $\theta_e = -20 \text{ }^\circ\text{C}$  za spoljašnji i  $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , za unutrašnji vazduh, redom, sa otporom prelazu toplote definisanim za neventilisani zid koji se graniči sa spoljašnjim vazduhom,  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  za unutrašnji i  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  za spoljašnji vazduh [3].

Na slici 1. prikazan je PVC okvir prozora, prema simuliranim uslovima koristeći softver Flixo 8.2.1180.1. [4] koji sa koeficijentima toplotne provodljivosti prikazanim na slici 1, ima vrijednost koeficijenta prolaza toplote  $U_f = 2,03 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .



Sl. 1. PVC profil sa koeficijentima toplotne provodljivosti elemenata

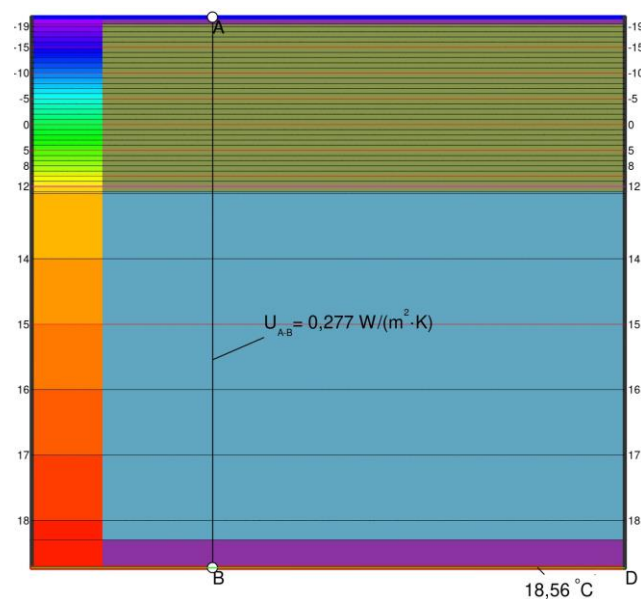
## B. Određivanje energetske karakteristika fasadnog zida

Za analizu uticaja ugradbene pozicije prozorskih elemenata fasadnog omotača stambenih objekata, na prosječnu i minimalnu temperaturu unutrašnje površine zida, je odabran konstruktivni sklop fasadnog zida, karakterističan za slobodnostojeće jednoporodične kuće u ruralnom području i višeporodične urbane zgrade, građene od 2014. godine [5]. Konstrukciju spoljašnjeg fasadnog zida ovih građevina karakteriše višeslojna neventilisana konstrukcija, izračunatog U-koeficijenta, prema BAS ISO 6946 [3]-[8]. Koeficijenti toplotne provodljivosti slojeva su definisani prema Pravilniku o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada RS [6]. Primjenom softvera Flixo 8.2.1180.1, prema EN ISO 13788:2005 [9], za uslove klimatskih oblasti sjever i jug, prema parametrima definisanim gore navedenim pravilnikom izračunata je unutrašnja temperatura zida [3].

Analizirani konstruktivni sklop fasadnog zida, na slici 2 karakterističan je za postojeće stanje slobodnostojeće jednoporodične kuće u ruralnom području i višeporodične stambene zgrade građene u urbanim sredinama u periodu od 2014. godine [5]. Karakteristični neventilisani fasadni zid je konstruisan od slojeva prikazanih u Tabeli 1.

TABELA I. SLOJEVI KARAKTERISTIČNOG ZIDA TIP 1

| Materijal                   | Gustina (kg/m <sup>3</sup> ) | Toplotna provodljivost $\lambda \text{ (W/(m} \cdot \text{K))}$ | Debljina d (m) |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|
| podužni krečni malter       | 1700                         | 0,85                                                            | 0,02           |
| šuplji opekarski blok       | 1200                         | 0,52                                                            | 0,25           |
| termoizolacija              | 20                           | 0,041                                                           | 0,12           |
| pigmentisani fasadni malter | 1850                         | 0,70                                                            | 0,01           |

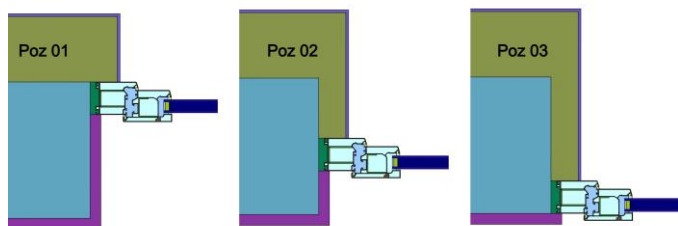


Sl. 2. Zid tip 01- slojevi zida i raspored temperatura za klimatsku oblast sjever

Konstrukciju spoljašnjeg karakterističnog fasadnog zida predmetnih zgrada karakteriše zid koji ispunjava minimalne zahtjeve propisane pravilnikom. [3]-[5] Dobijena je vrijednost koeficijenta prolaza toplote  $U = 0,277 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dok su propisane vrijednosti  $U = 0,300 \text{ W/m}^2\text{K}$  za oblast sjever i  $U = 0,450 \text{ W/m}^2\text{K}$  za oblast jug. Temperatura unutrašnje strane zida za oblast sjever je  $\Theta_{sjever} = 18,56 \text{ }^\circ\text{C}$ , a temperatura unutrašnje strane zida za oblast jug iznosi  $\Theta_{jug} = 19,10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### C. Definisanje ugradbene pozicije prozora

Simulacijom je obuhvaćeno testiranje PVC okvira za prozore za definisanu konstrukciju, u tri najčešće ugradbene pozicije prikazane na slici 3 [2]. Prva ugradbena pozicija (Poz 01) je definisana spoljašnjom ravni šupljeg opearskog bloka, druga pozicija (Poz 02) je uvućena 0,10 m od unutrašnje ravni šupljeg opearskog bloka i treća pozicija (Poz 03) je u ravni sa unutrašnjom ivicom šupljeg opearskog bloka. Prilikom projektovanja svake od navedenih pozicija spoja, vođeno je računa da spoj bude isprojektovan u skladu sa bosansko-hercegovačkim katalogom dobrih rješenja toplotnih mostova na stambenim objektima. Na svakoj od pozicija termoizolacija je prepuštena 5 cm preko okvira prozora [3].



Sl. 3. Prikaz pozicije prozora u odnosu na zid

#### D. Pojava kondenzacije i stvaranje buđi

Prema uslovima iz pravilnika za stambene zgrade, propisana je projektna temperatura unutrašnjeg vazduha,  $\Theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , i relativna vlažnost vazduha  $\phi = 60\%$ . U ovim uslovima prema navedenom Pravilniku, granična vrijednost temperature površine na kojoj dolazi do kondenzacije je  $\Theta_k = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ , odnosno ukoliko je uslov  $\Theta_k \leq \Theta_{si \min}$  ispunjen, konstrukcija ispunjava minimalne uslove i neće doći do stvaranja površinske vlage usljed kondenzacije [6].

Međutim, ovim uslovom se kontroliše mogućnost stvaranja kondenza na površini zida, ali ne i mogućnosti za stvaranje buđi. Za ispitivanje konstrukcije na spoju zida i prozora se koristi temperaturni faktor unutrašnjeg površinskog otpora  $fR_{si}$  [11]. Na ovaj način dobija se pokazatelj rizika od stvaranja buđi. Temperaturni faktor  $fR_{si}$  se računa na sljedeći način:

$$fR_{si} = \frac{\Theta_{siz} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} \quad (3)$$

gdje  $\Theta_{siz}$  ( $^\circ\text{C}$ ) predstavlja minimalnu temperaturu unutrašnje površine zida [2] dobijenu simulacijom,  $\Theta_e$  ( $^\circ\text{C}$ ) predstavlja spoljašnju, a  $\Theta_i$  ( $^\circ\text{C}$ ) unutrašnju projektnu temperaturu vazduha.

S obzirom na to da projektni uslovi za stambene zgrade, propisuju relativnu vlažnost vazduha 60%, a do uslova za

stvaranje buđi dolazi kada relativna vlažnost vazduha dostigne 80% vrijednost površinske temperature računa se prema formuli:

$$\Theta_{si} = \left(\frac{\Phi}{80}\right)^{\frac{1}{8,02}} \cdot (109,8 + \Theta_i) - 109,8(^{\circ}\text{C}). \quad (4)$$

gdje je,  $\Phi$  (%) projektna vlažnost vazduha,  $\Theta$  ( $^\circ\text{C}$ ) unutrašnja projektna temperatura.

Dobija se da je pri navedenim uslovima vrijednost površinske temperature zida sa unutrašnje strane  $\Theta_{si} = 15,43 \text{ }^\circ\text{C}$ , odnosno ova temperatura predstavlja graničnu temperaturu na kojoj se počinju stvarati povoljni uslovi za stvaranje buđi.

Ti uslovi se zadržavaju do temperature, pri kojoj dolazi potpunog zasićenja vodenom parom i stvaranja površinskog kondenza, odnosno do temperature unutrašnje površine koja iznosi  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Dobija se da je granična vrijednost  $fR_{si}$  za oblast jug

$$fR_{si \min} = \frac{\Theta_{siz} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} = 0,817, \quad (5)$$

a za sjever

$$fR_{si \min} = \frac{\Theta_{siz} - \Theta_e}{\Theta_i - \Theta_e} = 0,886. \quad (6)$$

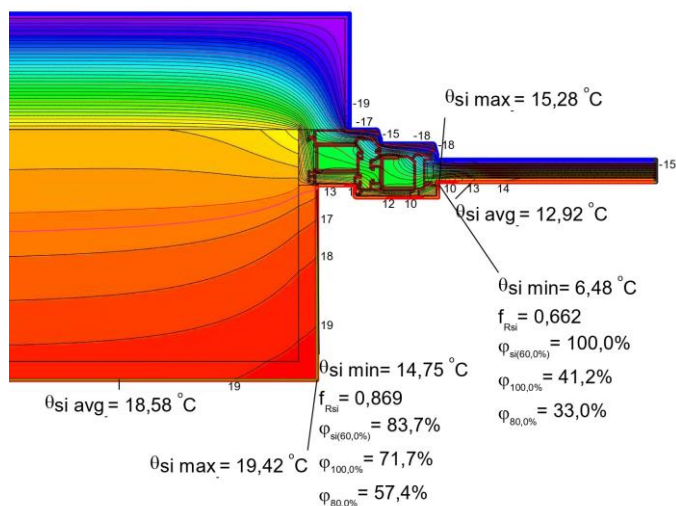
Prema ISO 10211 ukoliko konstrukcija ispunjava uslov  $fR_{si, \min} \leq fR_{si}$  uslovi za stvaranje buđi u testiranim uslovima su niski.

## II. SIMULACIJA PRIMJENOM SOFTVERA FLIXO

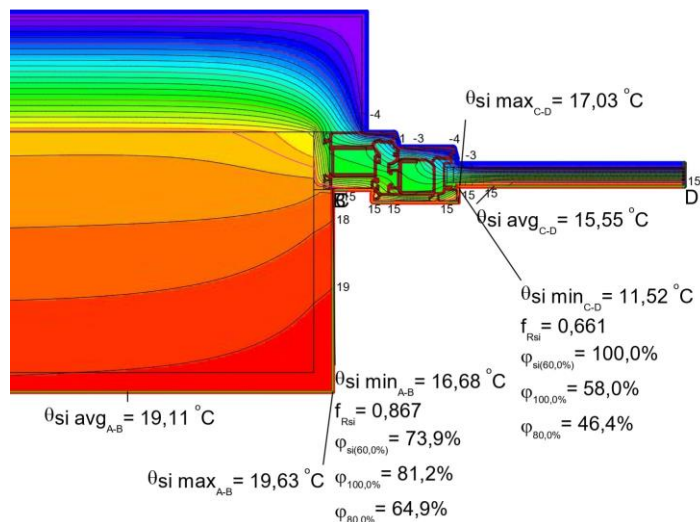
Koristeći softver Flixo 8.2.1180.1 [4], simulirane su navedene kombinacije konstruktivnog sklopa zida i prozora sa svim ugradbenim pozicijama, u obje zone klimatske oblasti propisane u gorenavedenom Pravilniku Republike Srpske. Na slikama 4 - 6 su prikazani rezultati analize prozora u definisanom zidu, na pozicijama 01, 02 i 03, za klimatsku oblast sjever, a na slikama 7 - 9 rezultati simulacije za tri razmatrane pozicije za klimatsku oblast jug.

Analize prikazuju raspored temperatura kroz konstrukciju, od ljubičaste, prema crvenoj, pri čemu ljubičasta boja predstavlja temperature koje su bliže vrijednosti spoljašnje temperature  $\Theta_e$ , a crvena vrijednosti bliže unutrašnjoj temperaturi  $\Theta_i$ . Na slikama se mogu vidjeti i vrijednosti  $fR_{si}$ , koje se računaju za minimalnu temperaturu unutrašnje strane zida  $\Theta_{si \min}$ , naznačenu na slikama. Prosječna temperatura unutrašnje strane zida, označena je sa  $\Theta_{si \text{ avg}}$ .

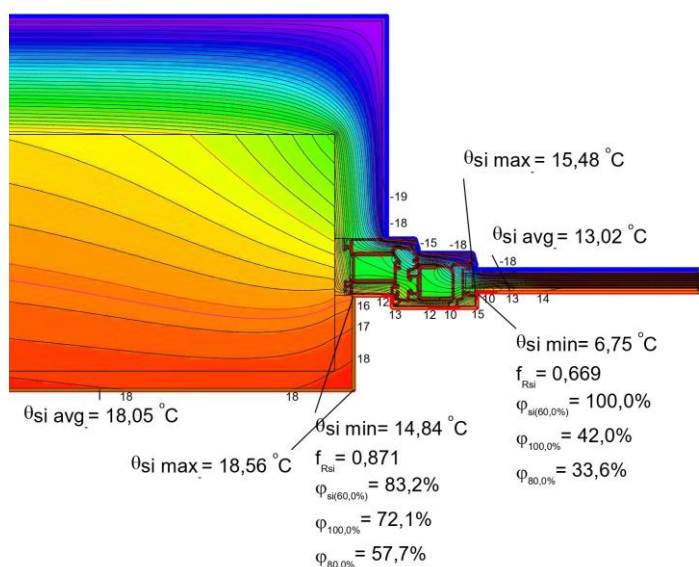
Pored toga, prikazane su iste vrijednosti i za prozorsku konstrukciju, čija analiza, nije predmet ovog rada.



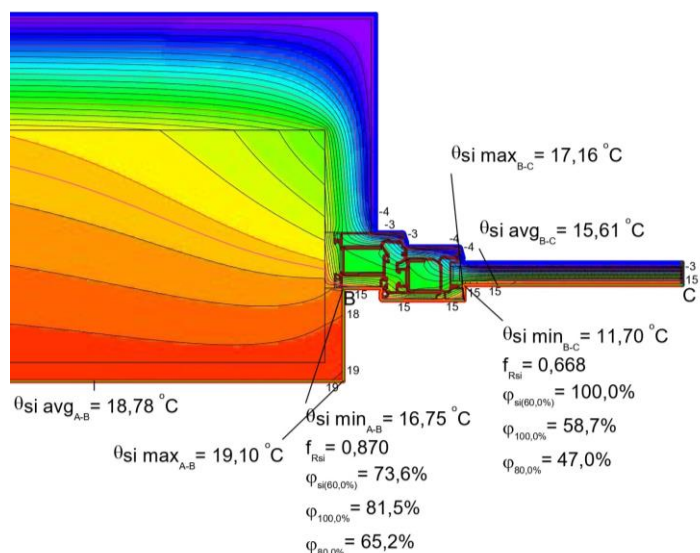
Sl. 4. Oblast sjever – Pozicija 01



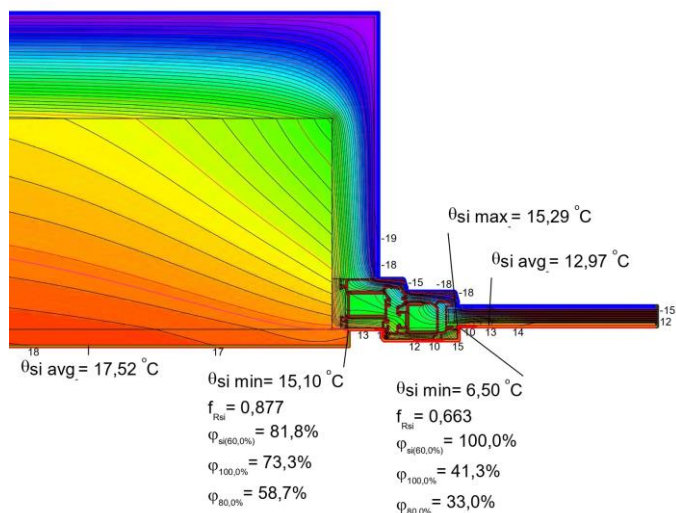
Sl. 7. Oblast jug – Pozicija 01



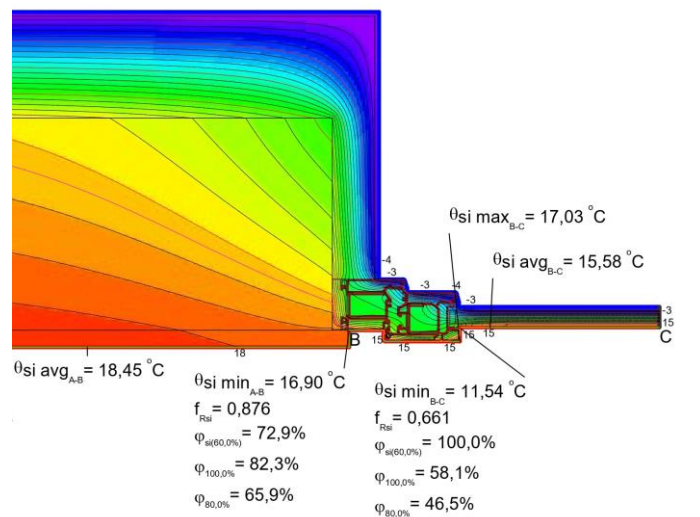
Sl. 5. Oblast sjever – Pozicija 02



Sl. 8. Oblast jug – Pozicija 02



Sl. 6. Oblast sjever – Pozicija 03



Sl. 9. Oblast jug – Pozicija 03

### III. REZULTATI SIMULACIJA

U tabelama II i III, prikazani su rezultati urađenih simulacija za prethodno opisanu konstrukciju spoljašnjeg (fasadnog) zida, PVC prozorskog profila i tri različite pozicije prozora označene sa 01, 02 i 03. Prikazani su  $f_{Rsi}$  faktor i prosječna površinska temperatura unutrašnje strane zida  $\Theta_{si\ avg}$  značajne za analizu mogućnosti pojave površinske kondenzacije i buđi.

Simulacijama, prikazanim na slikama 4 - 9, su dobijene vrijednosti  $\Theta_{siz\ min}$  za sve simulirane situacije, tj. pozicije prozora za obe klimatske zone. Najnepovoljniji rezultat je dobijen za poziciju 01 u oblasti sjever gdje je  $\Theta_{siz\ min} = 14,75\ ^\circ\text{C}$ , samim tim je prethodno definisan minimalni uslov  $\Theta_k \leq \Theta_{siz\ min}$  ispunjen i može se zaključiti da sve konstrukcije ispunjavaju zahtjev propisan Pravilnikom o sprečavanju stvaranja površinske kondenzacije.

TABELA II. REZULTATI SIMULACIJA ZA OBLAST SJEVER

| Oblast sjever |                                   | Poz 01              |                    | Poz 02    |                    | Poz 03    |                    |
|---------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| Tip zida      | U zida ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) | $f_{Rsi}$           | $\Theta_{si\ avg}$ | $f_{Rsi}$ | $\Theta_{si\ avg}$ | $f_{Rsi}$ | $\Theta_{si\ avg}$ |
| Tip 03        | 0,277                             | 0,87                | 18,58              | 0,87      | 18,05              | 0,88      | 17,52              |
|               |                                   | $f_{rsi} \geq 0,89$ |                    |           |                    |           |                    |
|               |                                   | $f_{rsi} < 0,89$    |                    |           |                    |           |                    |

TABELA III. REZULTATI SIMULACIJA ZA OBLAST JUG

| Oblast jug |                                   | Poz 01              |               | Poz 02    |               | Poz 03    |               |
|------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| Tip zida   | U zida ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) | $f_{Rsi}$           | $\Theta_{se}$ | $f_{Rsi}$ | $\Theta_{se}$ | $f_{Rsi}$ | $\Theta_{se}$ |
| Tip 03     | 0,277                             | 0,87                | 19,11         | 0,87      | 18,78         | 0,88      | 18,45         |
|            |                                   | $f_{rsi} \geq 0,82$ |               |           |               |           |               |
|            |                                   | $f_{rsi} < 0,82$    |               |           |               |           |               |

Rezultati simulacije pokazuju da, u klimatskoj oblasti sjever, prozori sa PVC okvirima i ukupnim koeficijentom prolaza toplote  $U_w = 1,59\ \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  ne mogu biti ugrađeni na način koji bi u potpunosti onemogućio pojavu uslova pogodnih za razvoj buđi. Vrijednosti temperaturnog faktora  $f_{Rsi}$  ostaju ispod preporučene granične vrijednosti. Tabela prikaz ukazuje na to da ugradbena pozicija 03 ostvaruje najpovoljnije rezultate na osnovu faktora  $f_{Rsi}$  u svim simuliranim slučajevima. Uzrok takvog rezultata je u rasporedu temperaturnog polja — izoterme se u ovom slučaju nalaze bliže unutrašnjoj površini zida, čime se povećava uticaj unutrašnje temperature na kritične tačke spoja prozora i zida, koje su ujedno i najosjetljivije na vlagu. S druge strane, najpovoljniji uticaj na prosječnu temperaturu unutrašnje površine zida ostvaren je kod ugradbene pozicije 01. Kod ove varijante, zbog pomjeranja prozorskog okvira ka spoljašnjoj zoni zida, veći dio unutrašnje površine ostaje izložen toplom unutrašnjem vazduhu, što omogućava efikasnije zagrijavanje te površine. U ovom slučaju, izoterme su povučene ka spoljašnjoj strani zida, što rezultira smanjenjem uticaja niskih

spoljašnjih temperatura na unutrašnju površinu. Time se postiže povećanje prosječne temperature, iako se istovremeno smanjuje lokalna termička stabilnost u zoni spoja.

U oblasti jug, primjetne su iste pravilnosti, pri čemu je mogućnost za adekvatno ugrađivanje, bez stvaranja povoljnih uslova za stvaranje buđi, moguća na svim pozicijama. Najveći uticaj na to imaju definisani, blaži projektni uslovi, koji proizilaze iz klimatskih karakteristika ove oblasti.

### IV. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj ugradbene pozicije PVC prozorskih elemenata fasadnog omotača stambenih objekata, na prosječnu i minimalnu temperaturu unutrašnje strane zida simulacijom u softveru Flixo 8.2. 1180.1. za klimatske oblasti sjever i jug.

Rezultati jasno pokazuju da nijedna ugradbena pozicija prozora ne ostvaruje istovremeno optimalne vrijednosti i za prosječnu temperaturu unutrašnje površine zida i za temperaturni faktor  $f_{Rsi}$ , koji ukazuje na rizik od stvaranja buđi.

Za postizanje optimalnih rezultata, posebno u oštrijim klimatskim uslovima, neophodno je u projektantski pristup uključiti dodatne mjere, kao što su kontrola relativne vlažnosti unutrašnjeg vazduha (kao faktora koji direktno utiče na rizik od buđi), korišćenje prozora sa boljim termoizolacionim karakteristikama, te eventualna optimizacija detalja spoja zida i prozora.

Kombinovanjem povoljne ugradbene pozicije sa odgovarajućim tehničkim rješenjima, moguće je uticati na temperature unutrašnje strane zida i time doprinjeti energetsom kvalitetu zgrade.

### LITERATURA

- [1] EN 14351-1 – Windows and doors – Product standard, performance characteristics – Part 1: Windows and external pedestrian doorsets, European Committee for Standardization (CEN), 2006.R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [2] Guideline for Installation of Windows and External Pedestrian Doors, ed. 08/2022, Gütegemeinschaft Fenster, Fassaden und Haustüren e.V., Frankfurt, ift Rosenheim, Rosenheim, 2022. ISBN: 978-3-86791-483-3. M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [3] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrade, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju, [Republika Srpska, Bosna i Hercegovina], [2015].
- [4] <https://www.flixo.com/>
- [5] D. Arnautović-Aksić, M. Burazor, N. Delalić, D. Gajić, P. Gvero, D. Kadrić, M. Kotor, E. Salihović, D. Todorović, and N. Zagora, *Tipologija stambenih zgrada Bosne i Hercegovine (Typology of Residential Buildings in Bosnia and Herzegovina)*, Sarajevo: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2016.
- [6] BAS EN ISO 10077-1 – Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General, Institute for Standardization of Bosnia and Herzegovina (BAS).
- [7] prEN 12412-1 – Thermal performance of windows, doors and shutters – Determination of thermal transmittance by hot box method – Part 1: Complete windows and doors, European Committee for Standardization (CEN).

- [8] EN ISO 10077-2:2017 – Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames, European Committee for Standardization (CEN), 2017.
- [9] BAS ISO 6946 – Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods, Institute for Standardization of Bosnia and Herzegovina (BAS).
- [10] BAS EN ISO 13788:2005 – Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods, Institute for standardization of Bosnia and Herzegovina (BAS), 2005.
- [11] EN ISO 10211 – *Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations*, European Committee for Standardization (CEN).
- [12] V. M. Vilems, K. Schild, and S. Dinder, *Građevinska fizika – Priručnik – Dio 1*, 1st ed. Belgrade, Serbia: Građevinska knjiga d.o.o., 2008. ISBN: 978-86-395-0561-5.

#### ABSTRACT

The subject of this research is the influence of the installation position of polyvinyl chloride window elements in the building envelope of residential buildings on the average and minimum temperature of the interior wall surface, and consequently, the potential for surface condensation and mold formation. The analysis was carried out using the software Flixo 8.2.1180.1, focusing on the distribution of temperatures through the wall structure, air saturation with water vapor, and the wall surface temperature factor under conditions typical of the northern and southern climatic zones, defined in accordance with the regulations governing the energy performance of buildings in the Republic of Srpska. The study considered polyvinyl chloride window frames installed in three positions within the facade wall, based on the Typology of Residential Buildings in Bosnia and Herzegovina and designed according to the catalogue of well-designed thermal bridges from the Bosnian-Herzegovinian standard. The results of the analysis indicate that, under the tested conditions, the window installation position can influence the average interior wall surface temperature as well as the likelihood of surface condensation and mold formation.

**Keywords:** installation position; surface moisture; mold; interior wall surface temperature; simulation

#### **INFLUENCE OF THE INSTALLATION POSITION OF POLYVINYL CHLORIDE WINDOW ELEMENTS IN THE BUILDING ENVELOPE OF RESIDENTIAL BUILDINGS ON THE INTERIOR WALL SURFACE TEMPERATURE**

Stefan Petrović, Biljana Antunović, Darija Gajić