

Numeričko modeliranje točkastih toplinskih mostova ventiliranih fasadnih sustava

Mergim Gaši¹

(1) Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Republika Hrvatska, mgasi@grad.hr

Sažetak

Povećanje energetske učinkovitosti zgrada dovelo je do povećanja potrebe energetskih obnova vanjske ovojnice zgrade. Među najčešće korištenim rješenjima su sustavi ventiliranih fasada i to zbog više razloga – boljih toplinskih svojstava, bolje kontrole vlage, estetike, itd. Takvi sustavi koriste metalne nosače za pričvršćenje vanjskih fasadnih elemenata koji uzrokuju toplinske mostove, a energetski proračun takvih fasada se uglavnom provodi kao u ETICS sustavima. Zanemarivanje toplinskih mostova može dovesti do nepredviđenih toplinskih gubitaka. Cilj ovog rada je određivanje utjecaja toplinskog mosta preko točkastog koeficijenta prolaska topline χ na mjestu prodora čeličnih pričvrsnica kroz sloj toplinske izolacije, te povećanja koeficijenta prolaska topline U zbog prisutnosti točkastih toplinskih mostova. Za analizu je napravljen numerički model u računalnom programu *AnTherm*, te su se varirali različiti materijali pričvrsnica fasadnog elementa i betonskih slojeva u cilju smanjivanja toplinskih gubitaka kroz točkaste toplinske mostove.

Ključne riječi: toplinski mostovi, točkasti koeficijent prolaska topline, koeficijent toplinske veze, *AnTherm*, *Eco-Sandwich*

Numerical modelling of the point thermal bridges of systems of ventilated facades

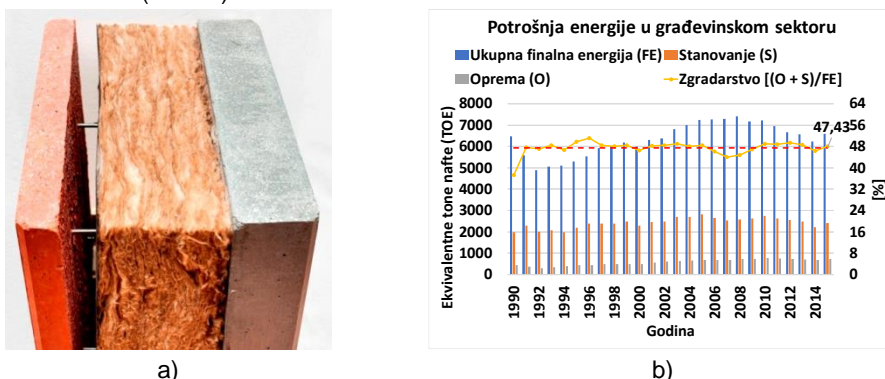
Abstract

Increasing energy performance of buildings has led to an increase of energy retrofit of building envelopes. Amongst mostly used solutions are systems of ventilated facades due to a variety of reasons – better energy performance, moisture control, aesthetics, etc. Those systems use metal profiles for fastening outer facade elements, and thermal performance of these systems is treated in the same way as ETICS. Neglecting of thermal bridges can lead to unforeseen heat losses through the building envelope. Aim of this paper is a determination of the point thermal transmittance X of point thermal bridge caused by penetration of steel fasteners through thermal insulation layer and calculation of the increase in the heat transfer coefficient U due to the presence of point thermal bridges. For analysis Numerical model was created in software *AnTherm* where different materials for fasteners and concrete layers were varied for reducing thermal losses through point thermal bridges.

Keywords: thermal bridges, point heat transfer coefficient, thermal coupling coefficient, *AnTherm*, *Eco-Sandwich*

1. Uvod

U pogledu potrošnje energije građevinski sektor je jedan od najznačajnijih potrošača – 40 % ukupno potrošene energije otpada na zgrade [1]. U Hrvatskoj je taj iznos čak i veći pa je 2015. godine iznosio 47.97 % od ukupne finalne energije potrošene u toj godini, uzevši u obzir potrošnju za stanovanje i opremu zgrade. U ovom će radu biti opisan numerički model kojim će se procijeniti toplinski gubitci kroz točkaste toplinske mostove nastale zbog čeličnih pričvrsnica koje nose vanjski sloj betona u predgotovljenom fasadnom sustavu zvanom ECO-SANDWICH® (Slika 1).



Slika 1. Predgotovljeni ventilirani betonski fasadni panel (a) [2] i Potrošnja energije u Hrvatskoj u periodu od 1990. do 2015. (b) (prema podacima iz [1])

ECO-SANDWICH® je predgotovljeni ventilirani betonski fasadni panel s ugrađenom toplinskom izolacijom [3]. Vanjski fasadni sloj je izgrađen od betona s recikliranom opekom, sloj toplinske izolacije izgrađen je od mineralne vune, a unutarnji nosivi sloj je izgrađen od betona s recikliranim agregatom. Tablica 3 prikazuje debljine slojeva i toplinske karakteristike pojedinih materijala korištene pri izradi numeričkog modela opisanog u poglavlju 3.

Tablica 3. Debljine slojeva i toplinske karakteristike pojedinih materijala

Slojevi	λ [W/mK]	c [J/kgK]	ρ [kg/m ³]	d [m]
Vanjski beton s recikliranom opekom	0.746	1000	1971	0.06
Zračni sloj	0.226	1000	1.20	0.04
Mineralna vuna	0.034	1000	80	0.20
Unutarnji beton s recikliranim agregatom	0.858	1000	2105	0.12
Čelik/Nehrđajući čelik	50/15	450/460	7850	$\Phi = 8$ mm
FRP	0.31	1670	1000	$\Phi = 8$ mm
Armirani beton	2.6	1000	2500	0.06/0.04

U Tablica 3 λ je toplinska provodljivost, c je specifični toplinski kapacitet, ρ je gustoća i d je debljina pojedinog sloja. Promjer šipki iznosi 8 mm.

U normi HRN EN ISO 10211 toplinski most je definiran kao manje područje u omotaču grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan zbog promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela zgrade [4]. Toplinski mostovi se mogu pojaviti u jednoj točki ili na određenoj duljini. Najčešći tipovi toplinskih mostova koji se pojavljuju prilikom projektiranja energetskih zahtjeva zgrade su toplinski mostovi na spojevima građevinskih elemenata. Ti toplinski mostovi se nazivaju linijskim toplinskim mostovima i kvantificiraju se duljinskim koeficijentom prolaska topline Ψ [W/mK]. Njihov proračun je uglavnom jednostavniji od proračuna točkastih toplinskih mostova budući da se u većini slučajeva linijski toplinski mostovi mogu svesti na dvodimenzionalne toplinske tokove, dok je prolazak topline kroz točkaste toplinske mostove uvijek trodimenzionalan.

Proračun toplinskih gubitaka kroz točkaste toplinske mostove je kompliciraniji od proračuna toplinskih gubitaka kroz linijske toplinske mostove. Zbog toga se kod proračuna toplinskih gubitaka utjecaj točkastih toplinskih mostova uglavnom zanemaruje. Kod zgrada gotovo nulte energije (nZEB) i pasivnih kuća odluka zanemarivanja točkastih toplinskih mostova može dovesti do povećane potrošnje zgrade u odnosu na projektirane vrijednosti. Studije pokazuju da čelični profili koji se koriste za pričvršćivanje fasadnih elemenata, koji probijaju sloj toplinske izolacije, dovode do smanjenja toplinskog otpora u okolini točkastog toplinskog mosta i to do dva puta [5] [6]. Ako se ti toplinski gubitci ne uzmu u obzir, zgrada bi se mogla svrstati u pogrešan energetski razred. Nadalje zanemarivanje tih gubitaka može dovesti do poddimezioniranja sustava za grijanje i hlađenje, a samo smanjenje površinske temperature na unutrašnjosti zgrade, zbog prisustva toplinskog mosta, može dovesti do razvoja gljivica i plijesni na unutarnjoj površini.

Cilj je ovog rada određivanje utjecaja toplinskog mosta preko točkastog koeficijenta prolaska topline χ [W/K] na mjestu prodora čeličnih šipki kroz sloj toplinske izolacije.

2. Formule korištene za kvantificiranje utjecaja toplinskih mostova

Određivanje toplinskih gubitaka zbog prisustva toplinskih mostova računa se preko izraza (1) [7]:

$$H_d = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \Psi_k + \sum_j X_j \quad (1)$$

gdje je H_d [W/K] koeficijent transmisijske izmjene topline prema vanjskom okolišu, A_i [m²] je površina elementa i na ovojnici grijanog dijela zgrade, U_i [W/m²K] je koeficijent prolaza topline elementa i na ovojnici grijanog dijela zgrade, l_k [m] je duljina linijskog toplinskog mosta k , Ψ_k [W/mK] je duljinski koeficijent prolaska topline linijskog toplinskog mosta k , a X_j je točkasti koeficijent prolaska topline točkastog toplinskog mosta j . Koeficijent prolaza topline U se određuje preko norme HRN EN ISO 6946 [8].

U slučaju da se točkasti toplinski mostovi pojavljuju na spojevima linijskih toplinskih mostova, u izrazu (1) se može zanemariti dio koji sadrži koeficijente χ [7]. Budući da se u ovom radu isključivo promatra utjecaj točkastih toplinskih mostova uzrokovanih čeličnim pričvrscicama koje nose fasadne elemente, u izrazu (1) se zanemaruju članovi koji se

odnose na linijske toplinske mostove. Točkasti koeficijent prolaska topline χ računa se u skladu s normom HRN EN 10211 preko izraza (2):

$$X = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i \quad (2)$$

gdje je L_{3D} [W/K] koeficijent toplinske veze dobiven iz 3D proračuna komponenti koje razdvajaju dva promatrana okoliša.

Ako se točkasti toplinski mostovi ponavljaju na vanjskoj ovojnici grijanog dijela zgrade, njihov utjecaj na povećanje koeficijenta prolaska topline može biti značajan. Ako se sa n označi broj pričvrsnica po m^2 površine elementa, tada se povećanje koeficijenta prolaska topline jednog elementa ΔU [W/m²K] računa preko izraza (3):

$$\Delta U = n \cdot X, \quad (3)$$

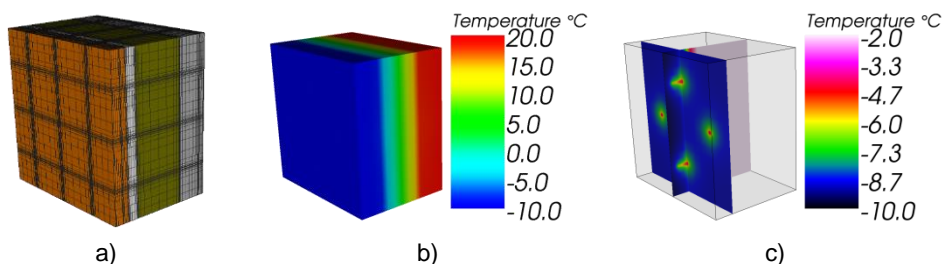
a ukupan koeficijent prolaska topline elementa s utjecajima toplinskih mostova jednak je:

$$U = U_0 + \Delta U \quad (4)$$

gdje je U_0 [W/m²K] koeficijent prolaska topline elementa bez toplinskih mostova.

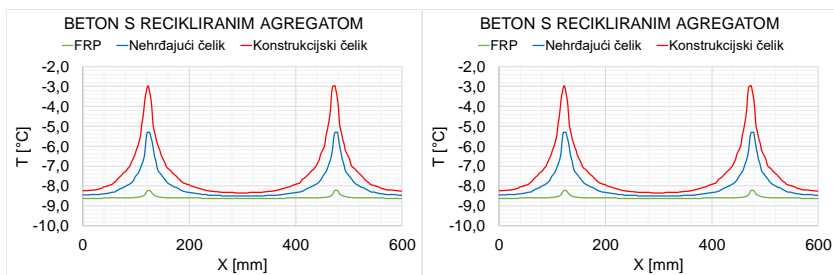
3. Numerička analiza točkastih toplinskih mostova

Tipičan element predgotovljenog ventiliranog betonskog fasadnog panela analiziranog u ovom radu iznosi približno 1200×1200 mm, te se u njemu nalazi 9 čeličnih pričvrsnica. Za izradu numeričkog modela u obzir je uzeta samo četvrtina panela dimenzija 600×600 mm (Slika 2 – lijevo) sa 4 čelične pričvrsnice. Slika 2 – desno prikazuje raspodjelu temperature u elementu.



Slika 2. Model korišten u računalnom programu AnTherm (a) i raspodjela temperature u elementu (b) i raspodjela temperature na pričvrstnicama (c)

Pomoću računalnog programa AnTherm [9] pri stacionarnim uvjetima prolaska topline određen je točkasti koeficijent toplinske veze L_{3D} za beton s recikliranim agregatom (BRA) i za armirani beton (AB), te su se kombinirali različiti materijali pričvrsnica fasadnog elementa – konstrukcijski čelik, nehrđajući čelik i polimer ojačan vlaknima (FRP). Rubni uvjeti su uzeti kao temperatura unutarnjeg i vanjskog okoliša ($T_i = 20$ °C i $T_e = -10$ °C), a koeficijent toplinske provodljivosti zraka ventiliranog sloja određen je preko norme HRN EN ISO 6946 [8] i iznosi 0.226 W/mK. Povećanje toplinske provodljivosti zraka uzrokovano je strujanjem fluida po površinama koje graniče s ventiliranim slojem.

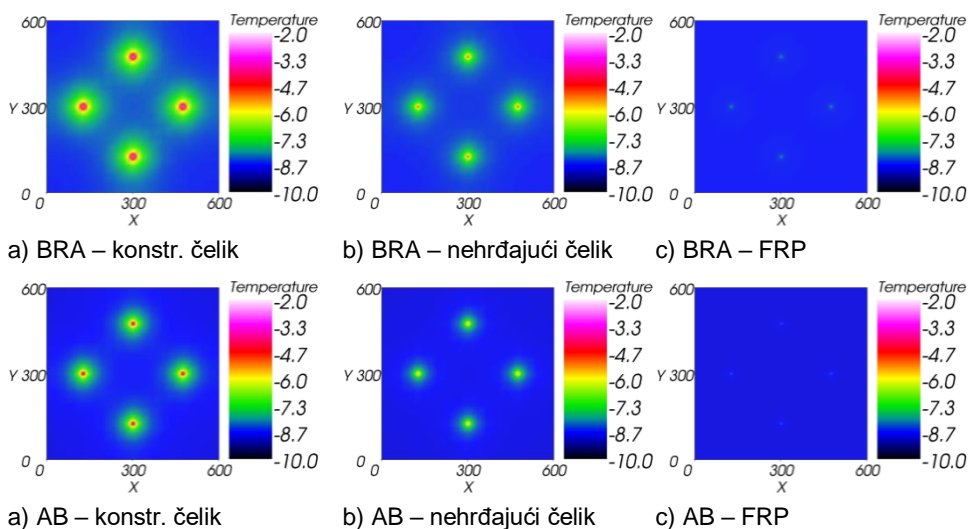


Slika 3. Raspodjela temperature u području toplinskog mosta na mjestu spoja TI s ventiliranim slojem

Tablica 4. Rezultati numeričke analize

Beton	Pričvrsnice	L_{3D}	A	U_0	X	pr./m ²	ΔU	U
BRA	Konstr. čelik	0.023	0.09	0.159	0.009	9	0.077	0.236
	Nehrđajući čelik	0.017	0.09	0.159	0.003	9	0.026	0.185
	FRP	0.017	0.09	0.159	0.000	9	-0.002	0.157
AB	Konstr. čelik	0.025	0.09	0.163	0.010	9	0.092	0.255
	Nehrđajući čelik	0.018	0.09	0.163	0.003	9	0.029	0.192
	FRP	0.014	0.09	0.163	0.000	9	-0.002	0.160

Koeficijent prolaska topline χ određuje se preko izraza (2), povećanje koeficijenta prolaska topline ΔU preko izraza (3) te ukupan koeficijent prolaska topline s utjecajima točkastih toplinskih mostova U preko izraza (4). Tablica 4 prikazuje rezultate dobivene numeričkom analizom.



Slika 4. Raspodjela temperature na vanjskoj površini toplinske izolacije

U slučaju AB U_0 je veći nego u slučaju BRA. Zbog toga se kod AB dobivaju veći transmisijski gubici zbog točkastih toplinskih mostova – ΔU , iako su koeficijenti X za AB i BRA skoro jednaki (Tablica 4). Sa Slika 3 može se vidjeti da je utjecaj toplinskog mosta manji ako se za pričvrsnice koristi materijal s manjim koeficijentom toplinske provodljivosti, a ujedno je i manja razlika temperature na mjestu toplinskog mosta u odnosu na neporemećeno stanje. Za slučaj s AB, utjecaj toplinskih mostova je manji zbog manje razlike koeficijenta toplinske provodljivosti materijala pričvrsnica i AB (Slika 4), ali je površinska temperatura na pričvrsnici veća u slučaju korištenja AB nego u slučaju BRA (Slika 3). Za sve kombinacije korištenih materijala nema rizika od nastanka gljivica jer je unutarnja temperatura na mjestu toplinskog mosta skoro jednaka temperaturi neporemećenog područja.

4. Zaključak

U ovom su se radu toplinski mostovi analizirali pri stacionarnim uvjetima prolaska topline i velikim razlikama unutarnje i vanjske temperature prema normi HRN EN ISO 10211.

Jedan od razloga zanemarivanja točkastih toplinskih mostova u fazi projektiranja je potreba korištenja računalnih programa specijaliziranih za proračun toplinskih mostova – proračun točkastih toplinskih mostova je uvijek trodimenzionalan.

Korištenje prikladnih materijala u cilju smanjenja toplinskih gubitaka je ključno. Odluka korištenja nehrđajućeg čelika umjesto konstrukcijskog čelika dovela je do smanjenja transmisijskih toplinskih gubitaka za oko 20 %, dok je korištenje materijala male toplinske provodljivosti (FRP-a) rezultiralo smanjenjem toplinskih gubitaka od otprilike 40 %.

Literatura

- [1] Eurostat, TSDPC320| Final energy consumption by sector [Na internetu]. Dostupno na: <https://www.econdb.com/dataset/TSDPC320/>. [Pristupljeno: 26-lip-2018]
- [2] HK Standard System. [Na internetu]. Dostupno na: <https://hkties.com/products/hk-standard-system/>. [Pristupljeno: 11-srp-2018]
- [3] Pećur, I. B., Štirmer, N., Milovanović, B., Carević, I.: Energy Efficiency Aspects of Recycled Aggregate, br. 1, str. 1–8, 2014.
- [4] Croatian Standard Institute, HRN EN ISO 10211 - Toplinski mostovi u zgradarstvu - Toplinski tokovi i površinske temperature - Detaljni proračuni. Zagreb, 2017.
- [5] Gomes, A. P., De Souza, H. A., Tribess, A.: Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil, Applied Thermal Engineering, 52, br. 1, str. 84–89, 2013.
- [6] Qasass, R., Gorgolewski, M., Ge, H.: Timber framing factors in Toronto residential house construction, Architectural Science Review, 57, br. 3, str. 159–168, 2014.
- [7] Croatian Standard Institute, HRN EN ISO 14683 - Toplinski mostovi u zgradarstvu - Linearni koeficijent prolaska topline - Pojednostavnjene metode i zadane utvrđene vrijednosti
- [8] Croatian Standard Institute, HRN EN ISO 6946 - Građevni djelovi i građevni elementi - Toplinski otpor i koeficijent prolaska topline - Metode proračuna. Zagreb, 2017.
- [9] AnTherm. [Na internetu]. Dostupno na: <http://www.antherm.at/antherm/EN/Waermebruecken.htm>. [Pristupljeno: 16-srp-2018]