

ANALIZE IN VPLIVI ZASTEKLENEGA STAVBNEGA OVOJA

ANALYSES AND INFLUENCES OF GLAZED BUILDING ENVELOPES

izvleček

V članku so predstavljene analize in vplivi zasteklitev na dveh različnih, medsebojno povezanih nivojih, stavbi in stavbnem elementu, zasteklitvi. Analize na nivoju stavbe so v raziskavi izdelane na vzorcu visokih poslovnih stavb v Sloveniji. Nanašajo se na več ocen deležev zasteklitve v stavbnem ovoju in na oceno deleža vgrajenih senčil. Analize dokazujejo, da je za sodobne stavbe z velikimi deleži zasteklitev in brez zunanjih senčil potrebno bolj premišljeno načrtovanje zasteklitev in njihovo dobro poznavanje energijskega delovanja. V drugem delu članka jim zato najprej sledijo analize energijskih bilanc na različnih izbranih zasteklitvah ter primerjave med njimi, nato pa analize energijskih bilanc na sončnozaščitnih zasteklitvah. Prispevek pokaže nujnost bolj celovite obravnave zasteklitev z energijskega stališča. Prikaže tudi, kako je zasteklitve med sabo mogoče bolj metodično primerjati in uporabljati vrednost energijske bilance zasteklitev pri načrtovanju trajnostno naravnanih stavb.

ključne besede

zasteklitev, delež zasteklenih površin, sončnozaščitna zasteklitve, vrednost energijske bilance, pregrevanje

abstract

The article presents the results of an analytical study of the functioning of glazing at two different yet interacting levels: at the level of the building as a whole, and at that of glazing as a building element. At the building level, analyses were performed on a sample of high-rise business buildings in Slovenia, where the glazing's share of the building envelope was calculated, and estimates of the proportion of shade provided by external blinds were made. It is shown that, especially in the case of modern buildings with large proportions of glazing and buildings with no shading devices, careful glazing design is needed, together with a sound knowledge of energy performance. In the second part of the article, the energy balance values relating to selected types of glazing are presented, including solar control glazing. The paper demonstrates the need for a holistic energy approach to glazing problems, as well as how different types of glazing can be methodically compared, thus improving the design of sustainability-orientated buildings.

key words

glazing, glazing's share, solar control glazing, energy balance value, overheating

Osnovna naloga ovoja stavbe je obdati in ščititi notranji prostor tako, da je v njem mogoče kontrolirati in uravnati razmere in s tem omogočiti zdravo, stimulatивно ter udobno bivalno in delovno okolje za uporabnika. Te zahteve veljajo za neprosojni in prosojni, običajno zastekleni del stavbnega ovoja, ki ima poleg tega tudi izjemno pomembno funkcijo, osvetlitev notranjosti z dnevno svetlobo. Do katere mere sodobni stavbni ovoj vpliva na zelene notranje pogoje, je odvisno od vse večjega števila dejavnikov: od oblikovanja, ki je predvsem odraz kreativnosti in upoštevanja tradicije, do tehničnih in tehnoloških zmožnosti, energijske učinkovitosti, trajnosti in vpliva na okolje.

Stavbni ovoj

Stavbni ovoj je sestavljen iz prosojnih in neprosojnih elementov. Za prosojni del se uporablja večslojno ravno steklo, ki ima za izboljšanje gradbeno-fizikalnih lastnosti dodane nizkoemisijske nanose in žlahtne pline. Tako obdelan steklen element imenujemo zasteklitve. Le redko ga nadomeščajo polikarbonati in druge umetne snovi, ker ne dosežajo tako dobrih lastnosti kot steklo. Vsebina članka se omejuje na prosojne elemente iz stekla, torej zasteklitve.

Na zasteklenih delih stavbnega ovoja potekajo bolj intenzivni in dinamični energijski tokovi, kot na neprosojnih. Prav zato zasteklene površine po eni strani nudijo veliko možnosti za regulacijo bivalnih razmer, po drugi strani pa povzročajo tudi številne težave (občutek hladu pozimi, pregrevanje poleti, bleščanje). Zasteklene površine v nasprotju z neprosojnim ovojem omogočajo, da stavbe direktno zajemajo večje količine sončne energije. Hkrati pa zaradi svoje edinstvene lastnosti, prosojnosti, nudijo oblikovalcu številne izrazne možnosti: kreativno uporabo barvnih zasteklitev, uporabo odsevov na

stekleni fasadi in svetlobnih učinkov v različnih svetlobnih razmerah (podnevi, ponoči). Tudi zato se zasteklitve na stavbnem ovoju uporablja v čedalje večjem obsegu in vse bolj raznoliko. Velik del zasteklih površin na fasadi omogoča večji vnos dnevne svetlobe globlje v notranjost. Zagotavljanje primerne osvetlitve notranjih prostorov z dnevno svetlobo je še posebej kritično pri stavbah z globokimi tlorisi. Takšni so na primer poslovni objekti, hoteli, bolnišnice, trgovski centri. Na stavbah z globokimi tlorisi je, tudi zaradi zagotavljanja potreb po dnevni osvetlitvi, delež zasteklenega dela stavbnega ovoja zelo velik.

Velike zasteklene površine omogočajo dotok večje količine energije sončnega obsevanja v notranjost, kar lahko pomembno vpliva na energijsko bilanco stavbe. V ogrevalni sezoni je s stališča energijske bilance stavbe tak dotok energije koristen, poleti ali v toplejših prehodnih obdobjih pa zaradi prevelike količine energije sončnega obsevanja, vpadle skozi zasteklitve, zelo pogosto pride do pregrevanja notranjih prostorov. Posledica je dodatna raba energije za intenzivno mehansko hlajenje. Delež energije, porabljene za hlajenje prostorov, se v skupni rabi potrebne energije za obratovanje stavbe bistveno poveča pri tistih stavbah, kjer je neprosojni stavbni ovoj sicer dobro toplotno izoliran, zastekleni del ovoja pa razmeroma velik, neprimerne kakovosti, izpostavljen sončnemu obsevanju in je brez ustrezne sončne zaščite.

Za večji nadzor in možnost uravnavanja prehoda sončne energije skozi zasteklitve skrbi sončna zaščita. Najbolj učinkovita sončna zaščita, ki preprečuje vpad direktne sončne energije na (in skozi) zasteklitve, so pomična, nastavljiva zunanja senčila. Možno jih je prilagajati naklonu sončnih žarkov in poti sonca preko dneva in leta, tako da površine senčijo po potrebi. Kot sončna zaščita, vendar z manjšim učinkom, se uporabljajo tudi zasteklitve

z nanosi in z dodatki v steklu ali na steklu (folije, potisk, emajl, fotovoltaične celice, kovinske mreže itd.) ter posebej razvita sončnozaščitna stekla, ki imajo nizko prepustnost za energijo sončnega obsevanja. Tehnološko najnaprednejše, a še neuveljavljene na trgu, so zasteklitve z variabilno prepustnostjo za sončno obsevanje, ki se odzivajo in prilagajajo na zunanje dražljaje (na primer fotokromne, termokromne).

Delež zasteklenih površin na vzorcu poslovnih stavb

Tudi v Sloveniji se pri načrtovanju že več desetletij sledi aktualnim oblikovalskim in tehnološkim smernicam ter namenja fasadnemu ovoju čedalje večje zasteklene površine. Da bi ocenili, kolikšen je zastekleni delež fasad, smo analizirali fasade 35-tih slovenskih visokih stavb. Izbrali smo poslovne stavbe, ker so običajno večjega volumna in imajo na fasadah praviloma velike zasteklene površine, ki so pogosto brez dobre sončne zaščite. Poslovne stavbe so običajno višje od sosednjih objektov, njihove fasade so gladke – brez večjih nadstreškov, izboklin, balkonov, ki bi senčili fasado, in so zato dobro osončene. Višje so tudi od zelenja in dreves ter izstopajo iz celotnega okoliškega stavbnega tkiva. Zaradi vseh teh razlogov lahko zajemajo sončno energijo skozi zasteklitve na velikem delu fasadnih površin.



Slika 1: Primeri stavb iz obdelanega vzorca visokih poslovnih stavb v Sloveniji (Foto: Sabina Jordan).

Figure 1: A selection of buildings in a sample of high-rise business buildings in Slovenia.

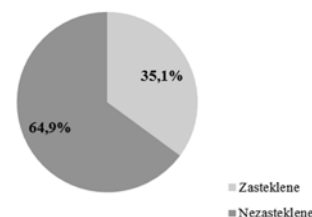
Najbolj intenzivno osončene so predvsem izrazito visoke poslovne stavbe in/ali njihovi posamezni deli. Posebej zgornja nadstropja so preko zasteklenih fasadnih površin izpostavljena direktnemu vnosu energije sončnega obsevanja v notranjost. Vnos te energije je odvisen od več dejavnikov: lege stavbe, njene velikosti, naklona in orientacije zasteklenih površin, pa seveda od kakovosti zasteklenih površin, od načrtovanja in vgradnje sončne zaščite ter od njene uporabe.

Poslovne stavbe, ki smo jih izbrali za analizo, so pretežno iz ljubljanskega prostora, nekaj jih je iz Maribora, Nove Gorice in Celja. Objekti so praviloma locirani na rob mestnih jader, deloma v industrijskem in poslovno-trgovskem območju. Grajeni so v različnih časovnih obdobjih, od 60-tih let do danes. Poslovne stavbe imajo spodnje etaže (pritličje, mezanin, prvo nadstropje) običajno v mešani rabi. Prostore zapolnjujejo trgovske in servisne dejavnosti, ki imajo funkcionalno razporeditev, višine prostorov in fasadne površine drugačne kot zgoraj ležeče etaže. Tudi fasadni elementi in zasteklitve niso enaki kot v nadstropjih, zato smo te etaže iz analize izvzeli. V večini primerov smo izvzeli tudi najvišje etaže, ki so oblikovane netipično. Tam so prostori bolj razgibani, na njih so na primer terase ali pa vsebujejo skupne, pomožne ali servisne prostore. Tako se število obravnavanih etaž giblje od 4 (v redkih primerih) do 17. Povprečno število obravnavanih etaž je 9,3. Skupna površina fasad vseh 35-tih obdelanih objektov znaša 149.483 m².

Delež zasteklenih površin na tipičnih fasadah

V prvem koraku nas je v pričujoči analizi zanimal delež zasteklenih površin fasadnega dela ovoja na obdelanem vzorcu visokih poslovnih stavb v Sloveniji. Za zasteklene površine smo šteli vse steklene prosojne površine: okna in fasadne zasteklitve brez okenskih okvirov, polnil in nosilnih elementov na fasadah. Zasteklenim površinam smo odšteli tudi delež, ki ga senčijo fiksna senčila, saj ta ne omogočajo dobikov sončnega obsevanja v stavbi. V skupnih fasadnih površinah, 149.483 m², je 52.463 m² zasteklenih površin. Odstotek zasteklenih površin, t.j. površin skozi katere je možen dotok energije sončnega obsevanja, je v skupni površini fasad torej 35,1%. Odstotek nezasteklenih površin pa je 64,9% (graf 1).

Zasteklene in nezasteklene površine vseh fasad

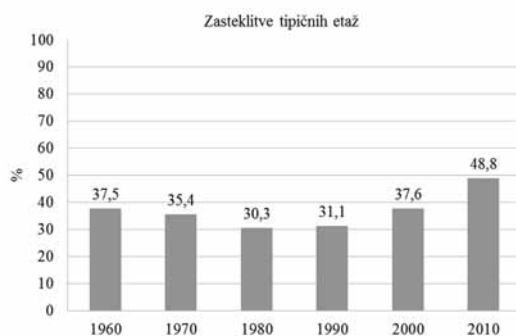


Graf 1: Odstotek zasteklenih in nezasteklenih površin v skupnih površinah analiziranih fasad stavbnega vzorca.

Graph 1: Percentage of glazed and opaque surfaces in total analysed facade area of a sample of buildings.

Vzorec poslovnih stavb smo v nadaljevanju podrobneje analizirali po obdobjih gradnje in za posamezne dekade izračunali odstotek zasteklenega dela fasadnega ovoja. Zasteklene fasadne površine se za tipične etaže, kjer se pretežno nahajajo pisarne, v odstotkih po dekadah gibljejo med 30,1% in 48,8%. Rezultati analize, ki so prikazani na grafu 2 in so zbrani po desetletjih, kažejo

zanimivo nihanje v šestdesetih, sedemdesetih in osemdesetih letih, ko beležimo padec deleža zasteklenih površin. Takšno zmanjševanje deleža zasteklitve je lahko posledica tehnologije gradnje, začetka energetske krize in uveljavljanja prve zakonodaje s področja toplotne zaščite in rabe energije. Po naši raziskavi delež zasteklenih površin na fasadah od devetdesetih let naprej spet postopno raste in nakazuje splošen trend večanja zasteklenih fasadnih površin na poslovnih stavbah.

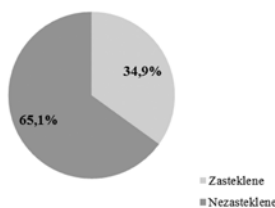


Graf 2: Odstotki zasteklenih površin na fasadah tipičnih pisarniških etaž na vzorcu visokih poslovnih stavb v Sloveniji po dekadah od leta 1960 do danes.
Graph 2: Percentages of glazing on the facades of typical office floors calculated on a sample of high-rise business buildings in Slovenia in decades from 1960 onwards.

Delež zasteklenih površin na osončenih fasadah

Orientiranost fasad je načeloma eden od ključnih parametrov za zajem energije sončnega obsevanja. Zato nas je zanimalo, kako se delež zasteklitve spremeni, če izločimo severno (in pretežno severno) orientirane fasade, na katerih je sončno obsevanje izrazito manjše. Od celotne obravnavane površine ostane 117.330 m² površin fasadnega ovoja orientiranega proti vzhodu, jugu in zahodu. Od tega je zasteklenih površin 41.007 m² ali 34,9%. Rezultat je, v primerjavi z deležem zasteklenih površin celotnega fasadnega ovoja, takorekoč enak.

Zasteklene in nezasteklene površine brez severnih fasad



Graf 3: Odstotek zasteklenih in nezasteklenih površin na osončenih analiziranih fasadah stavbnega vzorca.
Graph 3: Percentage of glazed and opaque surfaces in the analysed facade area of a sample of buildings exposed to the sun.

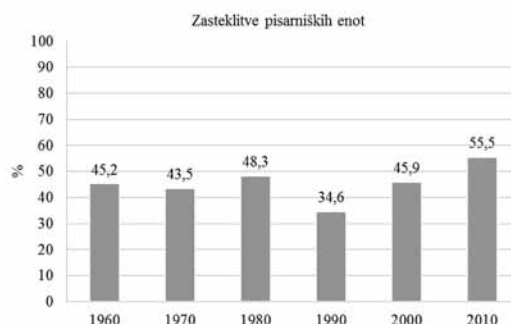
Delež zasteklenih površin fasad tipičnih pisarniških enot
Podrobnejši pregled vzorca poslovnih stavb kaže na naslednja dejstva:

1. Večji delež zasteklenih površin na fasadi zagotovo sodi k pisarnam, manjši delež pa k spremljajočim servisnim prostorom. Zato je delež zasteklenih površin fasade posamezne stavbe močno odvisen od funkcionalne razporeditve prostorov tipične etaže. Kadar so spremljajoči

servisni prostori po večini v jedru stavbe, pisarne in podobni večji prostori pa na obodu, se to na fasadi odraža v precej enakomerni razporeditvi zasteklenih površin. V nasprotnem primeru imajo določeni predeli fasade, kjer so nanizani servisni prostori, nižji delež zasteklenih površin.

2. Nekatere stavbe imajo pisarne v tipičnih etažah razporejene v vrsti ena ob drugi tako, da so vse orientirane proti glavnima fasadama, od koder se preko zasteklitve osvetljujejo z dnevno svetlobo. Glavni dve fasadi sta v določenem deležu zastekleni, stranski dve fasadi pa sta polni.

Deli fasad, ki so bistveni za osvetlitev tipične pisarniške enote in kjer servisni del nima vpliva, imajo torej lahko tudi drugačen delež zasteklitve. Analiza pokaže, da je razmerje med zasteklenimi in nezasteklenimi površinami fasad tipičnih pisarniških enot še nekoliko bolj v prid zasteklenim površinam. Odstotki zasteklitve izračunani po dekadah, ki so prikazani na grafu 4, so po naših izračunih med 34,6% in 55,5%. Skupni povprečni delež zasteklenih površin na fasadah pisarniških enot analiziranega vzorca poslovnih stavb v odstotkih pa je 44,7%. Izrazito odstopanje navzgor v osemdesetih letih kaže na takrat značilno razporeditev tlorisov na stavbah: umestitev servisnih prostorov ob fasado ter nizanje pisarn ob obe glavni (vzdolžni) fasadi ter njihova enostranska osvetlitev.



Graf 4: Odstotki zasteklenih površin na fasadah pisarniških enot vzorca analiziranih visokih poslovnih stavb v Sloveniji po dekadah od leta 1960 do danes.

Graph 4: Percentages of glazing on the facades of office units calculated on a sample of high-rise business buildings in Slovenia in decades from 1960 onwards.

Zunanja senčila

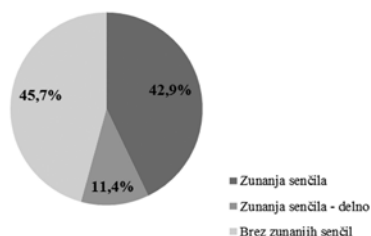
Ne glede na to, kako pomembna je sončna zaščita, ugotavljamo, da ima le dobra polovica stavb iz vzorca slovenskih poslovnih stavb vgrajena zunanja senčila. Učinkovita zunanja senčila so vgrajena na 42,9% stavb. 11,4% stavb iz vzorca ima senčila le na eni ali dveh osončenih fasadah, na posameznih etažah (naknadna vgradnja) ali pa so senčila fiksna (na primer lamele, brisoleji, ki zasteklitve ne senčijo po celotni površini). 45,7% analiziranih poslovnih stavb je popolnoma brez zunanjih senčil (graf 5).

Načrtovanje zasteklitve

Zastekleni deli fasade so običajno načrtovani predvsem za vnos dnevne svetlobe v notranjost objekta. Na fasadni ovoj se razporejajo glede na stavbni volumen, globino tlorisov, obliko in orientacijo fasad ter konstrukcijsko zasnovo stavbe. Pri tem se največkrat pozablja na prekomerni vnos energije sončnega obsevanja v stavbe in na nevarnost poletnega pregrevanja.

Pregrevanje notranjosti stavb, ki je postalo tako z energijskega stališča kot tudi z vidika toplotnega udobja problematika sodobnih stavb, se na obstoječem stavbnem fondu največkrat rešuje kar parcialno – z namestitvijo lokalnih hladilnih naprav, ki pogosto kazijo zunanjo podobo stavb.

Opremljenost fasad z zunanjimi senčili



Graf 5: Odstotek stavb z vgrajenimi zunanjimi senčili na zasteklenih površinah, brez zunanjih senčil in z delno vgrajenimi zunanjimi senčili.

Graph 5: Percentage of buildings with external shading devices, buildings with no external shading devices, and with partially resolved problem of shadings.

Za trajnostno naravnane stavbe s kakovostnim bivalnim okoljem je odločilno tudi optimalno načrtovanje zasteklenih površin. Premišljena izbira velikosti, orientacije in kakovosti zasteklitve lahko bistveno pripomore k reševanju ali omilitvi problema pregrevanja notranjosti stavb. Zmanjša se raba energije v stavbah in izboljša udobje uporabnika. To velja tudi za poslovne stavbe, za katere po analizi ugotavljamo velike deleže zasteklenih fasadnih površin. Proučevanje vzorca poslovnih stavb je pokazalo nekaj dejstev:

- na slovenskih poslovnih stavbah, zgrajenih od šestdesetih let do danes, je na fasadah vgrajen velik delež zasteklitve, v povprečju kar 35%;
- delež zasteklitve na fasadah narašča, v zadnjih letih predstavlja že skoraj 50% fasadnega ovoja;
- učinkovita zunanja senčila so nameščena na manj kot polovici obravnavanih stavb;
- delež zasteklenih površin fasad tipičnih pisarniški enot v povprečju znaša skoraj 45%.

Na podlagi predhodne analize smo izdelali oceno energijskih tokov za tipično pisarno. Želeli smo ugotoviti, kaj z energijskega vidika za stavbo oziroma pisarno pomeni tolikšen delež zasteklitve na fasadi. Predpostavili smo, da ima tipična pisarna 12,3 m² (3,5 m x 3,5 m) fasadne stene. Od tega je po naši raziskavi povprečno 44,7% zasteklitve, torej 5,5 m². Za račun smo vzeli minimalne toplotne prehodnosti: $U = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ za zasteklitev in $U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ za zunanje stene [TSG–1–004, 2010]. Izračunane letne transmisijske toplotne izgube skozi zasteklitve tipičnih pisarniških so tako 477 kWh, letne transmisijske toplotne izgube skozi preostali, neprosojni del fasade pa 150 kWh. Predpostavili smo še faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja skozi zasteklitev, $g = 0,50$ [TSG–1–004, 2010]. Dobitki sončnega obsevanja v ogrevalni sezoni pri 44,7% povprečni zasteklitvi tipičnih pisarniških enot (brez uporabe zunanjih senčil), so tako 370 kWh za severno, 1229 kWh za južno, 698 kWh za vzhodno in 808 kWh za zahodno orientirane fasade.

Rezultati kažejo, da so letne transmisijske toplotne izgube

skozi zasteklitve tipičnih pisarniških enot več kot trikrat večje kot skozi neprosojno fasado. Hkrati pa so dobitki sončnega obsevanja v ogrevalni sezoni za vsako izračunano orientacijo, razen za severno, višji od transmisijskih toplotnih izgub skozi zasteklitve in neprosojne dele skupaj. Ker se na zasteklenem delu fasade odvijajo zelo intenzivni energijski tokovi v obe smeri, lahko tako velik delež zasteklitve, skoraj 45% ali celo več, pri izpostavljenih orientacijah dejansko močno vpliva na energijsko bilanco pisarne in celotne poslovne stavbe.

Iz analize deležev prosojnih delov fasad na vzorcu poslovnih stavb v Sloveniji je razvidno, da je zlasti pri načrtovanju stavb z velikim deležem zasteklitve potrebno veliko pozornosti posvetiti tako izbiri zasteklitve kot tudi izbiri sončne zaščite. Premišljena izbira je pomembna v zgodnji fazi načrtovanja in za reševanje specifičnih situacij na fasadi. Izbira zasteklitve, ki ima optimalne lastnosti za vsak posamezen primer, je tesno povezana s poznavanjem njenega energijskega performansa. Eden izmed načinov za predstavitev energijskega performansa zasteklitve in za medsebojno primerjavo med zasteklitvami je računsko ocena energijskih tokov na zasteklitvah oziroma določitev energijske bilance zasteklitve.

Energijska bilanca zasteklitve

Energijska bilanca zasteklitve povezuje dve osnovni lastnosti zasteklitve, toplotno prehodnost in faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja.

Toplotna prehodnost zasteklitve, U

Kljub hitremu tehnološkemu napredku imajo sodobne zasteklitve razmeroma nizke toplotne prehodnosti, U . V primerjavi z ostalimi, neprosojnimi deli fasadnega ovoja, namreč še vedno ne dosegajo njim primerljivih toplotnih uporov, R . Dejansko so toplotni upori zasteklitve nekajkrat nižji od toplotnih uporov neprosojnih fasad. Zato so toplotne prehodnosti zasteklitve razmeroma visoke in povzročajo relativno velike transmisijske izgube na stavbnem ovoju. Čeprav so na trgu prisotne že mnogo bolj učinkovite toplotnoizolacijske zasteklitve, je tudi po zahtevah Tehnične smernice Učinkovita raba energije [TSG–1–004, 2010] maksimalna dovoljena toplotna prehodnost za zasteklitve, ($U = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) skoraj štirikrat višja kot za zunanje stene ($U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Razvoj zasteklitve gre torej v prvi vrsti v smeri višanja toplotnega upora, oziroma nižanja toplotne prehodnosti, kar pomaga reševati problem visokih transmisijskih toplotnih izgub skozi zasteklitve. Toplotni upor je tista gradbenofizikalna lastnost zasteklitve, ki ima pri energijski bilanci pomembno vlogo pri izračunu toplotnih izgub predvsem v ogrevalni sezoni.

Faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja zasteklitve, g , je razmerje vpadle in prepuščene gostote energijskega toka sončnega obsevanja skozi steklo. Na fasadah brez učinkovitih zunanjih senčil ima pri energijski bilanci stavbe pomembno vlogo tako v ogrevalni sezoni kot v poletnem času. Sončna energija lahko vstopa v stavbo skozi nezasečene zasteklene površine preko celega leta. Količina vpadle energije na te površine je odvisna od lokacije (geografske širine), mikrolokacije, orientacije zasteklenih površin, ovir v bližini stavbe in na stavbi, od letnega časa, vremenskih razmer in še drugih vplivnih faktorjev. Kadar zasteklitve nima zunanjih senčil, je edini dodatni "regulator" količine sončnega obsevanja, ki skozi zasteklitve prihaja v notranjost stavbe, faktor prepustnosti celotnega

sončnega obsevanja zasteklitve. V ogrevalni sezoni je smiselno, da je faktor g čimvišji, v poletnem času pa ravno obratno: faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja zasteklitve naj bo zaradi nevarnosti pregrevanja čimnižji. Opozoriti je seveda potrebno, da se z nižjim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja zasteklitve zmanjša tudi delež prepustnosti za dnevno svetlobo, kar lahko vpliva na nezadostno osvetlitev prostorov z dnevno svetlobo.

Odnos med transmisijskimi toplotnimi izgubami in dobitki sončnega obsevanja

V času ogrevalne sezone, ko imamo dovolj izrazito temperaturno razliko med notranjostjo in zunanostjo, da jo računsko upoštevamo, se teoretično vzpostavi odnos med transmisijskimi izgubami skozi zasteklene površine stavbnega ovoja in dobitki sončnega obsevanja. V vsem preostalem delu leta transmisijskih toplotnih izgub (ali morebitnih toplotnih dobitkov pri zelo visokih zunanjih temperaturah) skozi zasteklitve računsko ne upoštevamo, tako da v izračun vstopajo le dobitki sončnega obsevanja. V poletnem času so temperature zraka visoke in energija, pridobljena z dobitki sončnega obsevanja, je odveč. Pozimi pa postanejo dobitki sončnega obsevanja zaradi transmisijskih in drugih toplotnih izgub koristni in še kako pomembni. Zato ukrepi, s katerimi fiksiramo količino dobitkov sončnega obsevanja v prostor, na primer z zasteklitvami z nizkim g ali s fiksnimi senčili, niso optimalni. Za vse razmere najbolj učinkovita je zasteklitve s spremenljivim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. Enostavna rešitev, s katero se temu približamo, je uporaba zasteklitve z nizko toplotno prehodnostjo in razmeroma visokim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja ter hkrati vgradnja nastavljevih zunanjih senčil. Kadar so zunanja senčila nastavljiva, z njimi ustrezno in po potrebi uravnavamo dobitke sončnega obsevanja skozi zasteklitve.

Računska ocena energijskih tokov na zasteklitvah

Na splošno je energijo, ki se skozi zasteklitve izgublja zaradi transmisije toplote in pridobiva z dobitki sončnega obsevanja, mogoče izračunati. Metoda je v EU standardizirana in jo s SIST EN ISO 14438 privzemamo tudi v Sloveniji. Standard predpisuje postopek in račun za določanje vrednosti energijske bilance za steklo in zasteklene površine, E [SIST EN ISO 14438, 2004]. V osnovi je vrednost energijske bilance zasteklitve s faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja korigirana toplotna prehodnost zasteklitve.

Metoda je v prvi vrsti namenjena za medsebojne primerjave učinkov stekel in zasteklitve. Razširjena je v strokovnih krogih po vsem svetu, vendar se za računanje rabe energije v stavbah uporablja v nekoliko drugačni obliki. Mi smo s pomočjo metode želeli izdelati primerjavo med različnimi vrstami običajnih zasteklitve in zasteklitve s sončnozaščitnimi stekli.

Izračunana vrednost energijske bilance skozi 1 m^2 zasteklene površine je razlika med izgubljenimi energijo zaradi transmisije v odvisnosti od toplotne prehodnosti in energijo dobitkov sončnega obsevanja skozi isto površino v odvisnosti od faktorja prepustnosti celotnega sončnega obsevanja na dani lokaciji in v izbranem časovnem obdobju.

Vrednost energijske bilance izračunamo po enačbi:

$$E = U - \frac{\eta * g * f * H}{D} \quad (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$$

pri čemer je:

- U toplotna prehodnost zasteklitve,
- g faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja zasteklitve,
- H sončno obsevanje na vertikalno površino za izbrano časovno obdobje,
- D temperaturni primanjkljaj za izbrano časovno obdobje,
- η lastnost tipa stavbe, imenovana faktor izkoristka sončne energije,
- f faktor vzdrževanja stekla.

Ocena se po tej metodi vedno računa za nezasenčene zasteklitve in se podaja v $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Če so transmisijske toplotne izgube skozi posamezno zasteklitve večje od dobitkov sončnega obsevanja, je rezultat pozitiven. Kadar na računani zasteklitvi prevladujejo dobitki sončnega obsevanja, je rezultat negativen. Predstavitev in označevanje različnih zasteklitve z energijsko bilanco nazorno prikazuje odnos med izgubljenimi in vpadli energijo ter bolj natančno poda energijske lastnosti zasteklitve za dano lokacijo in orientacijo.

Uporaba računske ocene vrednosti energijske bilance

Čeprav je vrednost energijske bilance zasteklitve načeloma mogoče izdelati za katerokoli obdobje, nam največ pove vrednost energijske bilance v ogrevalni sezoni, ko v izračunu upoštevamo transmisijske toplotne izgube. Le v ogrevalni sezoni na rezultat računsko vplivata obe lastnosti: toplotna prehodnost in faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. V drugih obdobjih lahko zasteklitve neposredno primerjamo med seboj kar s faktorji prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. Zato je ocena energijske bilance zasteklitve v ogrevalnem obdobju smiselna in zelo zanimiva za vsako vrsto zasteklitve. Primerna je tudi za sončnozaščitne zasteklitve, ki z nizkimi faktorji prepustnosti celotnega sončnega obsevanja pripomorejo k sončni zaščiti stavb.

Primerjava izbranih zasteklitve

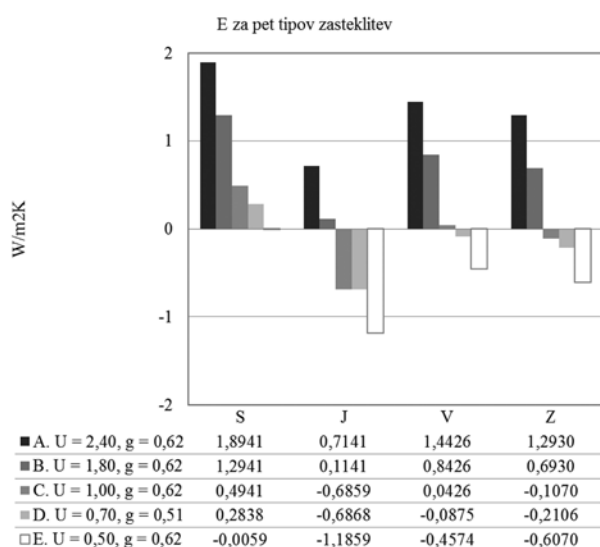
Za ponazoritev smo v nadaljevanju raziskave na podlagi metode iz standarda SIST EN ISO 14438 izdelali teoretično primerjavo različnih zasteklitve. Izbrali smo realne podatke zasteklitve, ki so vgrajene na stavbah iz analiziranega vzorca poslovnih stavb v Sloveniji: starejše zasteklitve z nižjo toplotno prehodnostjo iz obdobja 60-tih do 90-tih let (zasteklitvi A in B), sodobne zasteklitve, ki so na trgu dobrih petnajst oziroma deset let (zasteklitvi C in D) ter primerjalno dodali tudi izdelek bodočnosti, vakuumsko zasteklitve (zasteklitve E), ki je po napovedih že v fazi prehoda v komercialno uporabo. Lastnosti izbranih zasteklitve so:

- A. dvoslojna zasteklitve $U = 2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,62$,
- B. dvoslojna zasteklitve z nizkoemisijemskim nanosom, $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,62$,
- C. dvoslojna zasteklitve z nizkoemisijemskim nanosom in inertnim plinom Ar, $U = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,62$,
- D. troslojna zasteklitve z nizkoemisijemskim nanosom in inertnim plinom Ar, $U = 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,51$,
- E. vakuumsko zasteklitve, $U = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,62$.

Računska ocena vrednosti energijske bilance je izdelana na teoretični predpostavki, da so vse opisane zasteklitve enako velike, 1 m^2 , da so vertikalno postavljene (90°), orientirane na štiri osnovne strani neba in nezasenčene. Za računsko oceno je

pomembna še lokacija, ki določa količino sončnega obsevanja in temperaturni primanjkljaj. V našem izračunu so bili upoštevani podatki za Ljubljano – Center, za katero je temperaturni primanjkljaj 79200 Kh (kelvin ur). Izbrane so bile orientacije sever, jug, vzhod in zahod. Sončna obsevanja na vertikalne površine za to lokacijo so: 135 kWh/m² za severne fasade, 449 kWh/m² za južne fasade, 255 kWh/m² za vzhodne fasade in 295 kWh/m² za zahodne fasade.

Seveda je smiselno primerjati le zasteklitve s trajno nespremenljivimi lastnostmi, na katere ne moremo vplivati v računskem časovnem obdobju, ko se drugi, zunanji pogoji (temperature zraka, sončno obsevanje), spreminjajo. Zato tudi upoštevamo le zasteklitve brez nastavljivih zunanjih senčil. V izvedeni teoretični primerjavi za zasteklitve smo faktor izkoriščanja sončne energije in faktor vzdrževanja privzeli po standardu.



Graf 6: Vrednost energijske bilance, E, petih tipov nezasenčenih zasteklitvev v ogrevalni sezoni – teoretična primerjava vertikalno postavljenih zasteklitvev na geografski širini Ljubljane, za štiri osnovne orientacije: sever, jug, vzhod, zahod.

Graph 6: Energy balance value, E, for five selected types of non-shaded glazing in the heating season – theoretical comparison of vertical glazing at the Ljubljana latitude for four main orientations: north, south, east and west

Graf 6 prikazuje računске rezultate za vrednost energijske bilance na izbranih nezasenčenih zasteklitvah, za orientacije sever, jug, vzhod, zahod, v ogrevalni sezoni, v W/(m²)K). Pozitivne vrednosti za vrednost energijske bilance pomenijo, da so dobitki sončnega obsevanja manjši od transmisijskih izgub skozi zasteklitve. Negativne vrednosti pa nasprotno, da prevladujejo dobitki sončnega obsevanja.

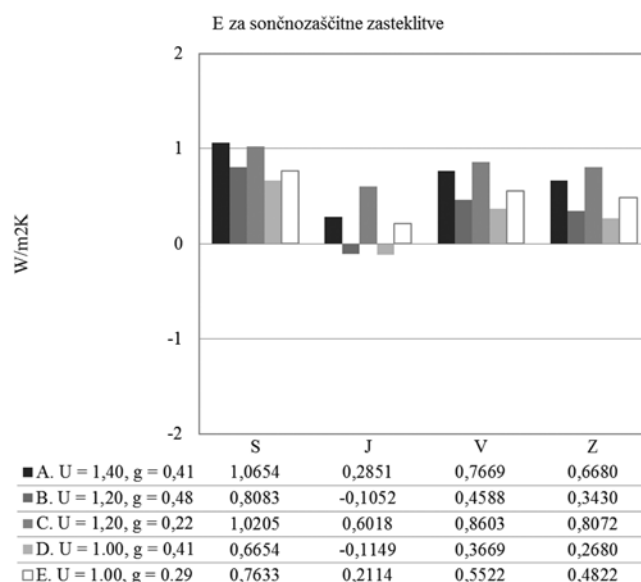
Zasteklitve A, B, C in E, ki imajo enake faktorje prepustnosti celotnega sončnega obsevanja ($g = 0,62$), se računsko po vrsti razporedijo od najneugodnejše A do zasteklitve E za najboljšim rezultatom v skladu z njihovo padajočo toplotno prehodnostjo (od $U = 2,40 - 0,50$ W/(m²K)). Zanimiva je primerjava med zasteklitvama C in D, kjer sta si rezultata za južno orientacijo zelo blizu, a se razlikujeta za 17%. Od vseh računanih primerov izrazito odstopa zasteklitve E (vakuumska zasteklitve) z najnižjo toplotno prehodnostjo in hkrati razmeroma visokim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja, ki je od zasteklitve D v povprečju boljša kar za 72%.

Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da je za čimbolj ugodno energijsko bilanco zasteklitvev, brez zunanjih senčil na dani lokaciji in pri izbrani orientaciji, pomembno razmerje med toplotno prehodnostjo in faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja skozi zasteklitve. Za ogrevalno obdobje velja, da naj bo toplotna prehodnost čimmanjša, faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja pa čimvečji. Takšna izbira vrednosti g v splošnem seveda ni ugodna za poletno obdobje, ker dopušča velike dobitke sončnega obsevanja. A problem učinkovito rešuje namestitev nastavljivih zunanjih senčil.

Pri izbiri zasteklitve, ki nima predvidenih zunanjih senčil, je opcija sončnozaščitne zasteklitve s čimnižjim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja manj učinkovita, ker neugodno vpliva na vrednost energijske bilance v ogrevalnem obdobju. Dobitki sončnega obsevanja so zaradi nizkega faktorja prepustnosti celotnega sončnega obsevanja prenizki, da bi pokrili transmisijске toplotne izgube. Učinkovite rešitve v tem primeru ni. Poleg tega učinkovitosti senčenja sončnozaščitnih zasteklitvev ne moremo primerjati z zunanjimi senčili, s katerimi lahko dosežemo visoko stopnjo senčenja. Ne glede na to se v arhitekturi uporablja vedno več različnih vrst sončnozaščitnih zasteklitvev.

Primerjava petih tipov sončnozaščitnih zasteklitvev

Sončnozaščitne zasteklitve imajo poleg nizke toplotne prehodnosti namenoma dokaj nizek faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. Osnovne lastnosti sončnozaščitnih zasteklitvev se od proizvajalca do proizvajalca razlikujejo, njihove vrednosti g , segajo tudi do 0,20 in celo pod 0,10. Žal pa takšna izbira zmanjšuje možnost izkoriščanja sončne energije takrat, ko si je želimo pridobiti čimveč, to je v ogrevalnem obdobju, in obenem znižuje nivo osvetlitve notranjosti z dnevno svetlobo.



Graf 7: Vrednost energijske bilance, E, petih tipov sončnozaščitnih stekel v ogrevalni sezoni – teoretična primerjava vertikalno postavljenih zasteklitvev na geografski širini Ljubljane, za štiri osnovne orientacije: sever, jug, vzhod, zahod.

Graph 7: Energy balance value, E, for five types of solar control glazing in the heating season – theoretical comparison of vertical glazing at the Ljubljana latitude for four main orientations: north, south, east and west.

Za ponazoritev vrednosti energijske bilance različnih sončnozaščitnih zasteklitev smo izdelali računsko primerjalno analizo za pet vrst toplotnoizolacijskih zasteklitev z razmeroma nizkimi faktorji prepustnosti celotnega sončnega obsevanja (sončnozaščitne zasteklitve A, B, C, D in E). Izračuni so bili narejeni prav tako na vseh štirih osnovnih orientacijah, sever, jug, vzhod in zahod, za vertikalno postavljeno zasteklitvev in za lokacijo Ljubljana – Center. S tem so računski pogoji ostali enaki. V izračun so bile vključene dvoslojne sončnozaščitne zasteklitve, ki so povzete iz proizvodnih programov različnih proizvajalcev zasteklitev (Saint Gobain – A in B, Pilkington – C in D, Reflex – E). Izbrane sončnozaščitne zasteklitve imajo naslednje lastnosti:

- A. $U = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,41$,
- B. $U = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,48$,
- C. $U = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,22$,
- D. $U = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,41$,
- E. $U = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in $g = 0,29$.

Rezultati na grafu 7 kažejo, da sta za severno orientacijo primerjalno najslabši zasteklitvi A in C, najboljše rezultate pa dosega zasteklitve D. Za južno orientacijo je najmanj ugodna zasteklitve C in najboljša zasteklitve D, presenetljivo pa sta si podobni zasteklitvi A in E ter zasteklitvi B in D. Podobne rezultate kažeta vzhodna in zahodna orientacija, pri obeh je najneugodnejša izbira zasteklitev C, šele na drugem mestu je zasteklitve A in takoj za njo zasteklitve E, primerjalno najboljše rezultate pa ima zasteklitve D. Tako vidimo, da izbira sončnozaščitne zasteklitve z najnižjo toplotno prehodnostjo in razmeroma nizkim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja (zasteklitve E), za ogrevalno obdobje ni najboljša izbira. Najslabše rezultate med računanimi primeri pa ima zasteklitve C s srednje nizko toplotno prehodnostjo in najnižjim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja.

Za vse primere velja, da toplotna prehodnost in faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja močno vplivata na vrednost energijske bilance. Vendar je očitno tudi, da je sam računski preobrat, pri katerem so dobitki sončnega obsevanja skozi zasteklitve višji od transmisijskih izgub, odvisen od teoretičnih predpostavk: temperaturnega primanjkljaja za izbrano časovno obdobje in faktorja izkoristka sončne energije.

Diskusija

V prispevku so predstavljene analize zasteklitve fasad visokih poslovnih stavb v Sloveniji. V prvem delu se analize nanašajo na delež zasteklitve fasad in na uporabo zunanjih senčil. Ugotovljeno je, da je na slovenskih poslovnih stavbah od 60-tih let dalje delež zasteklitev razmeroma velik in se še večja. To dejstvo je bilo izhodišče za izpostavitev problema – optimalne izbire zasteklitve za celoletno obdobje. Zasteklitve vpliva na energijsko bilanco stavbe oziroma dela stavbe (pisarne), saj potekajo skozi zasteklene fasadne površine dinamični procesi: transmisijske toplotne izgube in dobitki sončnega obsevanja. Ti procesi, ki so se do sedaj običajno obravnavali na nivoju stavbe, so v drugem delu članka predstavljeni na nivoju zasteklitve, kjer je uporabljena računaska ocena vrednosti energijske bilance zasteklitve.

Vrednost energijske bilance zasteklitve je lahko pripomoček za izbiro zasteklitve predvsem v zgodnji fazi načrtovanja stavbe in za reševanje specifičnih problemov. S pomočjo vrednosti energijske bilance so možne medsebojne primerjave iste ali

več vrst zasteklitev tudi po posameznih orientacijah. Posebej primerne pa so za primerjave sončnozaščitnih zasteklitev, ker je njihova sončna zaščita ne glede na energijske potrebe stavbe skozi vse leto enaka. Dejstvo je, da sončnozaščitne zasteklitve z dovolj nizkim faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja, prilagojenim za poletne razmere, v času ogrevalne sezone na določenih lokacijah v danih klimatskih razmerah ne prepuščajo zadostne količine sončne energije za bistveno izboljšanje vrednosti energijske bilance. Analiza kaže, da zasteklitve z nizkimi faktorji prepustnosti celotnega sončnega obsevanja težko pokrijejo izgube, oziroma je to odvisno tudi od velikosti izgub. Koliko lahko sončnozaščitna stekla pokrijejo izgube, je odvisno od toplotne prehodnosti in faktorja prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. Torej, pri nizkem faktorju prepustnosti celotnega sončnega obsevanja naj bo čimnižja tudi toplotna prehodnost. Dodatna slaba stran sončnozaščitnih stekel je še običajno skrajno nizka prepustnost za dnevno svetlobo. Rešitev z večanjem deleža zasteklenih površin za doseganje minimalne osvetlitve z dnevno svetlobo v stavbah pomeni hkrati višanje obitkov sončnega obsevanja. Enostavno pokrivanje primanjkljaja dnevne svetlobe z umetno pa ni priporočljivo s stališča udobja uporabnika in s stališča rabe energije.

Računska metoda po SIST EN ISO 14438 je dejansko primerna le za neposredne primerjave zasteklitev in ne za absolutno ovrednotenje zasteklitev. Za računanje bolj natančnega odnosa med transmisijskimi toplotnimi izgubami in dobitki sončnega obsevanja, oziroma za ugotavljanje pri katerih lastnostih sončnozaščitne zasteklitve je vrednost energijske bilance še pozitivna in pri katerih postane negativna, bi bilo potrebno raziskati, kako na bilanco zasteklitve vplivajo ne le faktor izkoristka sončne energije ter faktor vzdrževanja stekla, ampak tudi temperaturni primanjkljaj, ki ga določa temperaturni prag.

Zaključek

Zaključimo lahko z ugotovitvijo, da je potrebno zasteklitve obravnavati širše in bolj celovito ne le na nivoju stavbe (kot delež zasteklitve), temveč tudi na nivoju stavbnega elementa. Z razumevanjem energijskih tokov na zasteklitvi lahko že v fazi načrtovanja predvidimo delovanje stavbnega ovoja. Posebej to velja za fasade z velikim deležem zasteklitve in za fasade s sončnozaščitnimi zasteklitvami. Eden od načinov za označevanje lastnosti zasteklitve je vrednost energijske bilance, ki jasneje opredeljuje in na novo postavlja odnos med toplotno prehodnostjo in faktorjem prepustnosti celotnega sončnega obsevanja. S pomočjo vrednosti energijske bilance se lažje odločamo, katero zasteklitve izbrati za stavbo in kakšne zasteklitve je smiselno načrtovati za posamezne orientacije na stavbi.

Viri in literatura

SIST EN ISO 14438:2004 Steklo v stavbah - Določanje vrednosti
energijske bilance - Računska metoda.
TSG – 1 – 004:2010, Tehnična smernica Učinkovita raba energije,
MOP 2010.

mag. Sabina Jordan
sabina.jordan@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije

prof. dr. Martina Zbašnik-Senegačnik
martina.zbasnik@fa.uni-lj.si
UL Fakulteta za arhitekturo