

KARAKTERISTIKE FASADNIH STIJENA STAMBENIH VIŠEKATNICA U ZAGREBU

Olga Vujović

Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Primljeno: 24. listopada 1994.

Sažetak

Analizirano je 97 fasadnih stijena sa 58 stambenih višekatnica izvedenih u Zagrebu posljednjih 20 godina. Pritom su stijene razvrstane prema presjeku i upotrijebljenome materijalu, a provjeravane su dvije njihove bitne karakteristike: toplinsko - tehnička i ekonomska. Vrijednosti su kvantificirane i prema kvaliteti složene u rang-liste, za svako obilježje posebno te zajedno na rang-listu ukupnih mjerljivih kvaliteta. Rezultati istraživanja pokazali su: (a) da je višeslojni presjek poželjan za sve primjenjive konstruktivne materijale presjeka, pa i za siporeks, (b) da prednosti opeke kao konstruktivnog materijala nenosive vanjske stijene nisu dovoljno iskorištene, posebno kad je riječ o STIBO-blokovima, (c) da treba poticati daljnje povećanje izolacijske vrijednosti presjeka jer to vrlo malo povećava cijenu, (d) da bi s ekonomskog stajališta, ali i radi poboljšanja kvalitete fasadnih stijena, bilo korisno povećati asortiman prefabriciranih fasadnih elemenata, tzv. otvorene prefabrikacije u velikim serijama, različitih veličina, a osobito različitih širina.

UVOD

Analiza osnovnih karakteristika fasadnih stijena izvedenih posljednjih 20 godina provedena je na području Zagreba jer se tu najbolje mogu pratiti aktualne težnje u stanogradnji, ponajprije zbog:

- relativno velike količine izvedenih objekata
- koncentracije stručnog osoblja i laboratorijske opreme, što omogućuje viši doseg kvalitete koncepta i bolju mogućnost provjere

- koncentracije znatnije građevne operative bolje tehničke opremljenosti, što omogućuje bolju izvedbu zgrada.

Veća kvaliteta i mogućnost kontrole za vanjsku su stijenu osobito bitni radi njezine kompleksnosti, što je uvjetovano mnogostrukostima njezinih funkcija.

Tijekom rada, u fazi prikupljanja podataka, uočeno je da bi zbog zanimljivih presjeka u analizu bilo korisno uključiti i manji broj fasadnih stijena s područja Rijeke i Splita, čiji su nam podaci bili dostupni.

Jasno nam je da bi proučavanje trebalo proširiti i na područja drugih većih središta Hrvatske kao što su Osijek, Slavonski Brod i drugi gradovi u kojima su upravo posljednjih 20 godina izgrađeni važni i zanimljivi objekti. Ratne okolnosti utjecale su na to da smo ta područja bili prisiljeni izostaviti zbog nemogućnosti prikupljanja i provjere podataka.

Analiza proširena na područje cjelokupne Hrvatske pokazala bi specifičnosti pojedinih regija u smislu izbora tipova izgrađenih stambenih objekata i posebno njihovih fasadnih stijena. Na osnovi tih podataka mogli bi se uočiti vjerojatni uzroci takvog izbora i procijeniti opravdanost takvog pristupa.

Smatramo, međutim, da su i na samom području Zagreba dobiveni mjerodavni rezultati: ustanovljeno je koji su tipovi fasadnih stijena najčešći i koja su im najvažnija obilježja u usporedbi s manje čestim tipovima.

Kao podloga za analizu i izbor tipova poslužila je nedavna anketa što su je proveli studenti Arhitektonskog fakulteta iz Zagreba, pod vodstvom nastavnika predmeta Stambeni objekti - kolektivno stanovanje, dopunjena nekim novim primjerima, posebno ako se koja fasadna stijena pokazala zanimljivom. Neke smo podatke morali provjeriti i dopuniti za svoje potrebe.

U završnoj fazi odabrali smo 97 presjeka uzetih sa 58 objekata na kojima smo, prema našim kriterijima, proveli prvu analizu. Ona je pokazala da pet presjeka u trenutku izvedbe nije zadovoljavalo tražene normative toplinske zaštite, pa su u sljedećim usporednim analizama ti presjeci izostavljeni. Tako su za ukupnu i usporednu provjeru ostala 92 presjeka.

Primljenjena sistematizacija

Sistematizacija fasadnih stijena provedena je:

A. Prema konstruktivnom materijalu¹ na presjeke:

1. s opekom kao osnovnim konstruktivnim materijalom,
2. s konstruktivnim betonom (uvijek armiranim),

3. s konstruktivnim siporeksom,
4. ostale - pretežito od laganog materijala, najčešće s drvenim ili metalnim kosturom.

Zastupljenost pojedinih konstrukcijskih materijala je ovakva:

- opeka, oko 25%
- beton, oko 66%
- siporeks, oko 6%
- ostalo, oko 3%.²

Velikoj zastupljenosti betona kao konstruktivnog materijala za presjeke pridonose dva osnovna razloga: 1. Ako fasadna stijena istodobno ima i zadaću nosive stijene, tada je, za zagrebačko područje visokoga seizmičkog rizika, logična primjena armiranog betona, koji na jednostavan način (bez dodatnih konstrukcija) osigurava objekt od potresa. Tako je gotovo uvijek sa zgradama s poprečnim nosivim zidovima ako završni zid niza postaje zabatnim zidom objekta, pa i vanjskim zidom. 2. Zbog česte primjene specifične tehnologije izvedbe s tunelskim oplatama, na zagrebačkom se području za zidove i stropove često primjenjuje armirani beton, pa i koncept završnoga vanjskoga zida, najčešće kontinuiranog niza izmaknutih ili pod kutom nastavljenih jedinica stubišta stambenih višekatnica (Dugave, Špansko).

B. Prema karakteristikama presjeka prihvaćena je podjela presjeke³ na:

1. homogene,
2. heterogene,
3. slojevite i
4. složene presjeke.

Takva sistematizacija bila je povezana i s primijenjenim materijalom. Tako je homogeni presjek najčešće korenspondirao s konstruktivnom opekom ili siporeksom, slojeviti presjek s betonom, a složeni s laganim materijalima.

Novi, viši konstruktivni te posebno fizikalni zahtjevi učinili su opeku (a velikim dijelom i siporeks), u razumnim granicama debljine i bez dodatnih konstruktivnih mjera, neprihvatljivim za fasadnu stijenu u drugoj i trećoj klimatskoj zoni te u područjima pojačane opasnosti od potresa. Tako se i presjeci od opeke i siporeksa sve češće pojavljuju u skupini B.3, tj. među slojevitim presjecima, pa se njihova primjena za fasadne stijene može smatrati dominantnom. To nije iznenađenje jer se zna da se za suvremene presjeke materijali primjenjuju tako da se maksimalno iskoriste njihova povoljna svojstva, pa različiti materijali preuzimaju pojedine funkcije fasadne stijene.

Nijedan primjer u promatranom razdoblju nije odgovarao heterogenom presjeku, a zanemarivo ih je malo pripadalo skupini laganih stijena.

Metoda istraživanja

Istraživanje je provedeno u tri osnovna smjera.

Tehničke karakteristike u užem smislu ispitane su da bi poslužile kao podloga za registriranje osnovnih odrednica presjeka, kako bi se unutar iste skupine presjeci mogli uspoređivati. Uz primijenjenu podjelu prema konstruktivnom materijalu i karakteristikama presjeka dodatno je definirana uloga stijene u konstruktivnom sustavu zgrade, te način izvedbe, s posebnim naglaskom na prefabrikaciju.

Analiza *debljine stijene* (koja je bitna za odnos ugrađene i korisne površine te je dodatni pokazatelj ekonomičnosti zgrade i stana) pokazala je da većina presjeka ima ograničene razlike debljine. Iznimka je samo malen broj laganih stijena složenog presjeka.

Većina stijena s konstruktivnom opekom debela je 30-40 cm (14/24, od toga je deset stijena tanje od 35 cm). Presjeci su u pravilu slojeviti. Opeka (čak ni šuplja) u razumnim debljinama ne osigurava dovoljnu toplinsku izolaciju, pa je u presjeku dopunjena klasičnim izolacijskim materijalom ili toplinskom žbukom.

Najveće razlike debljine nađene su u presjeka s konstruktivnim betonom u kojih su i mogućnosti varijacija veće, kako u slaganju slojevitog presjeka, tako i u načinu izvedbe. Klasična, odnosno industrijalizirana izvedba u pravilu daje veće debljine slojevitog presjeka, pa 35/51 takvih presjeka ima debljinu 30-40 cm. Međutim, od 11 u cijelosti montažnih stijena, osam ima debljinu 21-26 cm.

Jasno je da razlike u debljini ponajprije nastaju kao posljedica nosivosti stijene, pa je stoga veći dio parapetnih prefabrikata manje debljine od nosivoga zabatnog zida, bez obzira na način njegove izvedbe. No opravdano je očekivati da će se za prefabrikate nastojati smanjiti debljinu konstruktivnog betona radi smanjenja ukupne težine i rastećenja mehanizacije. Ako se ne kombiniraju s drugim materijalima, presjeci s konstruktivnim siporeksom debeli su 31-36 cm. Uz današnje normative za toplinsku zaštitu, te debljine nisu dovoljne, pa se siporeks obvezatno dopunjava boljim izolacijskim materijalom, čime se postiže mnogo veća debljina (46 cm) od debljine presjeka s ostalim konstruktivnim materijalima. Lagane stijene slojevitog presjeka rijetko su se primjenjivale, i to u debljinama 11-12 cm. Prednosti male debljine i težine poništavaju se nedostacima nedovoljne toplinske stabilnosti, visokom cijenom i najčešće slabom zvučnom zaštitom.

U nastavku izdvojene su i analizirane one karakteristike fasadnih stijena što ih je moguće kvantificirati i uspoređivati. Pokazalo se da je najprikladnija podloga, koja daje najviše mogućnosti objektivizacije, usporedba po četvornome metru punog presjeka.⁴ Dok puni dio presjeka varira,

kako materijalom, tako i načinom njegove primjene, ostakljeni je dio stijene (izuzimajući veličinu ostakljenja) gotovo jednakih karakteristika.

Za analizu smo izdvojili dva bitna obilježja presjeka: toplinsko-tehničko⁵ i ekonomsko. Njih smo detaljno obradili, kvantificirali, usporedili te na temelju dobivenih rang-lista pojedinačnih i ukupnih karakteristika ustanovili vrijednost pojedinog presjeka. Usporedba je pokazala koji je od primijenjenih presjeka povoljniji i zašto.

ANALIZA ODABRANIH OBILJEŽJA

a) Toplinsko-tehnička obilježja⁶

Za tu je analizu valjalo uzeti u obzir činjenicu da su u promatranom razdoblju vrijedila dva različita normativa o fizikalnim svojstvima. Do 1980. godine za obodne su konstrukcije stambenih prostora zahtijevana manje povoljna svojstva toplinske zaštite. Propisi su, naime, osiguravali zaštitu od površinskog rošenja unutarnje plohe vanjske stijene, što bi bila posljedica njezine niske temperature zbog nedovoljne izolacijske vrijednosti. Od 1981. godine u propise se uključuje i zahtjev za većim komforom uz manji utrošak energije za njegovo postizanje, pa su tada postavljeni zahtjevi za većom izolacijskom vrijednosti i određenom toplinskom stabilnosti vanjske stijene.

Stoga s današnjeg stajališta neki presjeci ne zadovoljavaju normative tražene toplinske zaštite. Mi smo odlučili u razmatranje uključiti sve presjeke koji su u trenutku izvedbe zadovoljavali tadašnje propise.

Podaci kojima smo se koristili rezultat su istraživanja dostupne dokumentacije i svjesni smo da oni ne moraju uvijek odgovarati izvedbi. To, međutim, ne umanjuje potrebu da se analiza provede na osnovi danih podataka, te da se teorijski razmotre mogući rezultati takvih realizacija.

Analiza pokazuje da zadovoljavajuću toplinsko-izolacijsku vrijednost nema 12/97 (odnosno 9/92) presjeka, a toplinsku stabilnost 7/97 (odnosno 4/92) presjeka. Velik dio presjeka s nedovoljnom toplinskom stabilnosti nalazi se među malobrojnim presjecima iz prve klimatske zone (područje Splita), što znači pogoršane okolnosti zbog nepovoljnog pregrijavanja u ljetnom razdoblju.

Samo su tri presjeka nepovoljna sa stajališta difuznih procesa (kondenzat unutar presjeka na nepovoljnome mjestu), no oni imaju i druge nedostatke, pa su isključeni iz daljnjih analiza. *Usporedne analize toplinsko-izolacijske vrijednosti različitih presjeka, izražene koeficijentom k* , pokazuju da vrsta i debljina izolacijskog materijala imaju prvorazredno značenje ako su primijenjene uobičajene debljine i odgovarajuća vrsta

osnovnoga konstruktivnog materijala presjeka (beton 10-20 cm, opeka 12-19 cm).

Najpovoljnije toplinsko-izolacijske kvalitete imaju presjedi od opeke i betona s izolatorom pjenoplasta (najčešće okipora) ili mineralne vune debljine 8-10 cm. Dodatna opeka kao vanjska zaštita izolatora povećava izolacijsku vrijednost, pa je zamijećeno da su najpovoljniji presjeci upravo tako koncipirani.

Ukupno 42/92 presjeka imaju vanjsku zaštitnu opeku debljine 12 cm bez ventiliranoga zračnog sloja iza sebe, često ožbukanu. Ako se tome broju pridoda još 15/24 presjeka ventiliranih fasada,⁷ koje također imaju vanjsku oblogu od fasadne opeke, vidljivo je da se zaštitna opeka debela 12 cm, ožbukana ili fasadna, može smatrati uobičajenom na zagrebačkom području (ukupno 62% promatranih presjeka).

Na visokome, trećem mjestu rang-liste nalazi se jedan od rijetkih presjeka s konstrukcijskim siporeksom (bloketi), također dopunjen izolacijom od mineralne vune debljine 8 cm i izvana obložen ventiliranom fasadnom opekom. Taj presjek, međutim, ima znatnu debljinu (46 cm) u usporedbi s ostalim presjecima, što se može smatrati nedostatkom.

Iako je izolacijska vrijednost siporeksa veća od vrijednosti opeke, a osobito od izolacijske vrijednosti betona pa je debljina dodatnog izolatora za postizanje zadovoljavajuće toplinsko-izolacijske vrijednosti manja, ipak presjeci koji danas zadovoljavaju normative obuhvaćaju i standardni izolator minimalne debljine 4 cm (31/92 na rang-listi) ili barem toplinsku žbuku s manje povoljnim rezultatom (81/92 na rang-listi).

Na relativno povoljnome, 16. mjestu rang-liste nalazi se presjek izveden STIBO-blokom od opeke. Presjek takvog zida ne razlikuje se bitno od standardnoga slojevitog presjeka od opeke, samo je tehnologija izvedbe drukčija, što se odražava na cijeni.

Smanjenje debljine standardnog izolatora, upotreba izolatora manje izolacijske vrijednosti, npr. kombi-ploča, heraklita, ili čak siporeksa, zamjena izolatora s toplinskom žbukom te izostavljanje zaštitne opeke izvana odnosno postavljanje ventilirane vanjske obloge, znače manju toplinsko-izolacijsku vrijednost zida. Zato se na začelju rang-liste nalaze presjeci s izolatorima: pjenoplastom debljine 2-3 cm, heraklitom, siporeksom, toplinskom žbukom ili siporeksom bez dodatnog izolatora veće izolacijske vrijednosti.

Na zagrebačkom se području relativno rijetko upotrebljavaju materijali manje izolacijske vrijednosti (10/92), a malo je i presjeka izvedenih s izolatorom pjenoplasta ili sl., debljine manje od 4 cm (14/92). Većina je presjeka izvedena standardnim pjenoplastom ili mineralnom vunom debljine veće od 5 cm. To pokazuje da se izolacijski materijal upotrebljava u debljini većoj od minimalne koja je u drugoj klimatskoj zoni

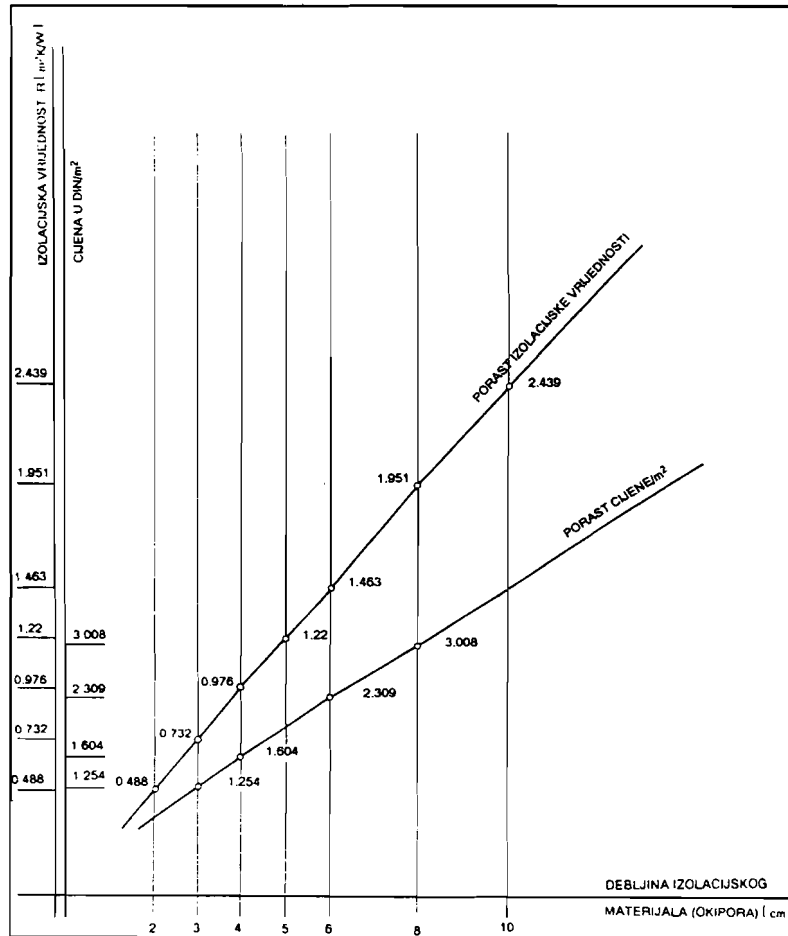
dovoljna da osigura potrebnu toplinsku zaštitu i bez drugih materijala (manje od 4 cm pjenoplasta).

Značenje vrste i debljine izolacijskog materijala za svojstva presjeka vanjske stijene može se promatrati u kontekstu dvaju parametara:

- toplinsko-izolacijske vrijednosti i cijene stijena.

Osim razlikama u izolacijskoj vrijednosti i cijeni četvornog metra izolatora (sl. 1), posljedice promjene vrste i debljine izolatora mogu se izraziti i kao udio izolacijskog materijala u izolacijskoj vrijednosti, odnosno udio cijene izolatora u cijeni stijene. Takvo gledanje pokazuje da cijena presjeka po jedinici površine ne raste proporcionalno s povećanjem cijene odgovarajućega izolacijskog materijala. Razlog je tome da je

Slika 1. Povećanje izolacijske vrijednosti i cijene po m² izolacijskog materijala (okipor) a u odnosu prema povećanju njegove debljine



cijena izolacijskog materijala manja od cijene ostalih materijala iz presjeka, a cijena postave neznatno varira u odnosu prema njegovoj debljini.

Ako se kao uzorak promotri okipor, u primjeni najčešći izolacijski materijal (oko 67% presjeka), može se ustanoviti da se za isto povećanje debljine od 1 cm pri manjim debljinama (od 2 na 3 cm) cijena ugrađenog okipora poveća i za približno 38%, a pri većim debljinama (od 5 na 6 cm) taj je porast smanjen na 17,5% po četvornome metru.

Promatramo li, međutim, udio cijene okipora u cijeni cjelokupnog presjeka, ustanovit ćemo da okipor debljine 3 cm u promatranim presjecima ima udio od 3,1 do 5,4 %; okipor debljine 5 cm udio 4,6-8,5%, a okipor debljine 10 cm sudjeluje u cijeni četvornog metra presjeka s približno 10% (sl.2.b).

Razlike u postotku za istu debljinu ponajprije ovise o primijenjenim konstruktivnim materijalima presjeka. Kod presjeka čiji je konstruktivni materijal armirani beton, osnovni dio zida ima veću cijenu nego pri presjeku s konstruktivnom opekom, pa je tada i udio cijene izolacijskog materijala u ukupnoj cijeni presjeka manji. To upućuje na zaključak da, posebno na betonskim vanjskim zidovima, nije osobito ekonomično smanjivati debljinu izolacijskog materijala. Iako je cijena ostalih vrsta primijenjenih izolacijskih materijala malo veća od cijene okipora, njihov udio u cijeni presjeka nije bitno različit (razlika manja od 5%), osim pri kaširanju ili primjeni parne brane, kada se uz debljinu okipora od 3 cm udio cijene izolatora penje i do 12%.

Toplinsko-izolacijska vrijednost se, međutim, bitno mijenja ovisno o vrsti i debljini izolacijskog materijala, pa je udio izolatora u izolacijskoj vrijednosti presjeka znatan. Tako okipor debljine 3 cm sudjeluje u ukupnoj izolacijskoj vrijednosti promatranih presjeka sa 56-89%, a okipor debljine 10 cm sa 90% (sl.2.a).

Usporedimo li udio cijene izolatora i njegove izolacijske vrijednosti (za istu debljinu okipora), jasno je što znači povećanje debljine izolatora kako bi se postigle i veće vrijednosti izolacije vanjskog zida od onih koje zahtijevaju propisi.

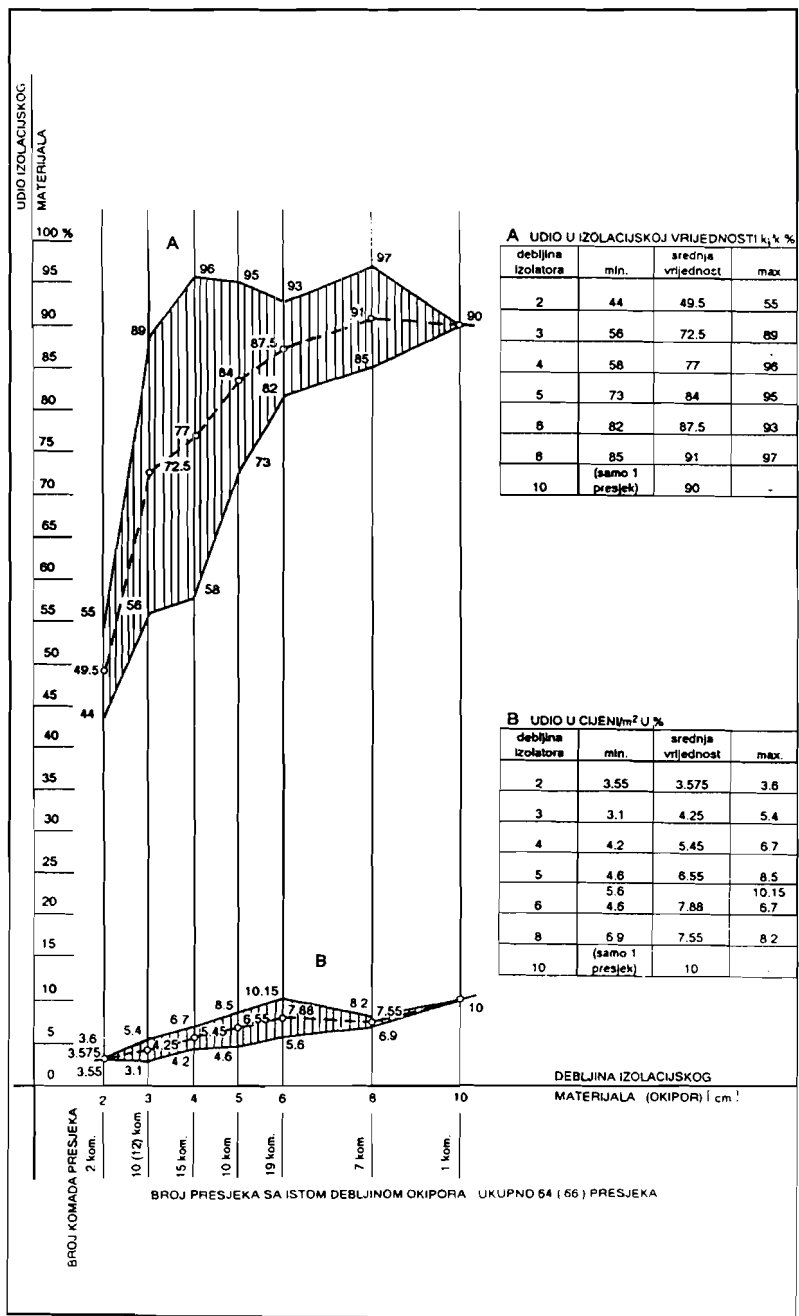
Povećanje debljine izolacijskog materijala bitno utječe na izolacijsku vrijednost zida, a time i na komfor, te na smanjenje troškova grijanja u zimskom razdoblju, a samo neznatno na visinu početne investicije. Iako osnovni dio zida ima određeni utjecaj na toplinsko-izolacijsku vrijednost, on je u usporedbi s izolatorom manje važan. Zato je korisnije zadovoljavajuće vrijednosti postići samo izolatorom, a ostalim se materijalima pretežito koristiti za postizanje ostalih potrebnih osobina fasadne stijene.

Usporedne analize redosljeda presjeka po toplinsko-izolacijskim svojstvima pokazuju da se visoke vrijednosti postižu uvijek debljim izolacijskim materijalom, čija je debljina prilagođena izolacijskim svojstvima osnovnoga konstruktivnog materijala. Vrlo povoljni presjeci s konstruktivnim betonom sadrže standardni izolator debljine 8-10 cm. Slično

Slika 2.

A) Udio izolacijskog materijala u ukupnoj toplinsko-izolacijskoj vrijednosti punog presjeka

B) Udio cijene izolatora u ukupnoj cijeni po m² punog presjeka



mjesto na rang-listi imaju presjeci s konstruktivnom opekom i s izolatorom debljine 6 cm.

Toplinska stabilnost presjeka fasadne stijene u nas se uobičajeno promatra izdvojeno iz ukupne toplinske stabilnosti prostora stana odnosno objekta. Razlog tome je daljnje pojednostavnjenje računa koji se temelji na dostignućima znanosti o titrajima, a za potrebe toplinske stabilnosti presjeka stijene ili stropa već je znatno pojednostavnjen i aproksimativan. No kako su i sve pretpostavljene veličine za proračun toplinsko-tehničkih karakteristika presjeka približne, za praktičnu se primjenu može prihvatiti i to pojednostavnjenje.

Kontrola toplinske stabilnosti presjeka provjerena je kao i ostali parametri po metru četvornome punog presjeka, što omogućuje usporedbu punih, pretežito višeslojnih presjeka, za koje je ta provjera danas obvezna. Ventilirani presjeci za koje se pretpostavlja da zadovoljavaju zahtjeve toplinske stabilnosti za svoju namjenu i dano podneblje izostavljeni su.

Uz primjenu istih materijala i uz jednak redoslijed slojeva, promjenom debljine izolacijskog materijala mijenja se izolacijska vrijednost presjeka, ali i njegova toplinska stabilnost. Međutim, promjene toplinske stabilnosti nisu proporcionalne povećanju debljine, kako je to s toplinsko-izolacijskim vrijednostima. A sama akumulacijska vrijednost materijala, mjerodavna za toplinsku stabilnost presjeka, ovisi o njihovoj gustoći, odnosno specifičnoj toplini i najčešće je obrnuto proporcionalna izolacijskim vrijednostima.

Budući da je većina promatranih presjeka složena od različitih materijala, razumljivo je da sastav stijene (uz određene vrste materijala i njihov redoslijed u presjeku) bitno utječe na stabilnost stijene pri temperaturnim promjenama. Redoslijed slojeva je, međutim, posve nevažan za toplinsko-izolacijsku vrijednost stijene.

Usporedna analiza presjeka pokazala je koji su činitelji bitni za toplinsku stabilnost stijene. Navodimo ih redom:

- a) Povećanje debljine iste vrste izolacijskog materijala zadržavši jednake susjedne slojeve znači osjetno povećanje toplinsko-izolacijske vrijednosti presjeka, ali pri određenim okolnostima i povećanje njihove toplinske stabilnosti. Za razliku od podebljanja i njemu proporcionalnog porasta toplinsko-izolacijske vrijednosti, povećanje toplinske stabilnosti osim o debljini ovisi i o njegovoj specifičnoj toplini, te o debljini i vrsti susjednih slojeva, kao i o smještaju slojeva u odnosu prema cjelokupnom presjeku.

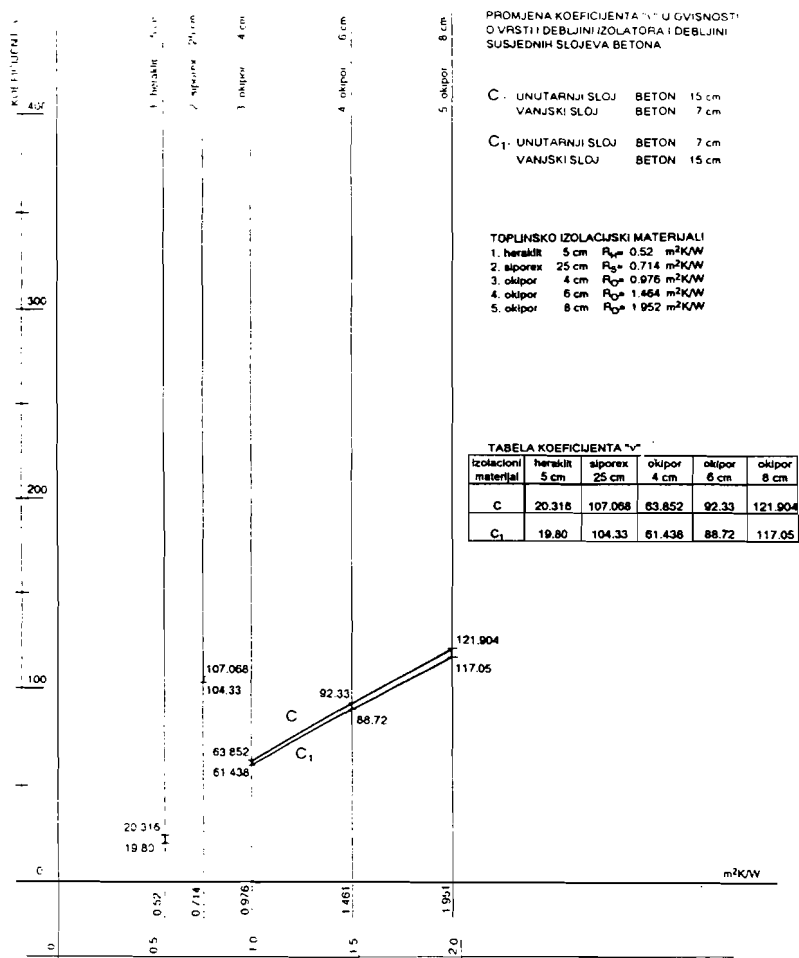
Vrlo povoljna svojstva toplinske stabilnosti i visoko mjesto na rang-listi imaju presjeci s debljim standardnim izolacijskim materijalom smještenim između dva gusta materijala visoke vrijed-

nosti akumulacije topline, posebno ako je deblji sloj od betona ili opeke smješten s unutarnje strane izolatora.

To upućuje na činjenicu da i relativno tanki izolacijski slojevi manje gustoće mogu pozitivno utjecati na toplinsku stabilnost presjeka ako susjedni slojevi preuzmu ulogu "poboljšanja" njihove osnovne vrijednosti.

Važno je ustanoviti da se bitni pozitivni učinak postiže samo uz obostrano postavljanje gušćih slojeva uz izolator, a učinak je to veći što su slojevi deblji (sl.3-5).

Slika 3. Promjene koeficijenta γ u teorijskim presjecima



b) Povećanje debljine gušćih slojeva uz izolacijski materijal poboljšava toplinsku stabilnost presjeka, bez obzira na to s koje se strane taj sloj nalazi. Ipak, poboljšanje je nešto veće kad se podeblja unutarnji nego vanjski sloj. U promatranim presjeka pozitivni je učinak postignut podebljanjem betona ili opeke kao materijala smještenih s obje strane standardnog izolatora.

Vrlo nepovoljnim za toplinsku stabilnost pokazala se jednostrana postava tanjeg sloja manje gustoće (npr. lateks-žbuka "Demit"), kao vanjska zaštita izolatora.

c) Akumulacijski je siporeks manje povoljan od betona i opeke, ali je povoljniji od okipora, a po pravilu je i deblji. Pokušaj da se siporeksom riješi cijeli presjek, uz današnje normative za toplinsku zaštitu vanjske stijene, ne daje povoljne rezultate ni s izolacijskog stajališta ni sa stajališta toplinske stabilnosti. Zadovoljavajući presjek bio bi mnogo deblji nego je to moguće prihvatiti.

d) Na začelju rang-liste toplinske stabilnosti presjeka nalaze se presjeci s izolatorom manje izolacijske vrijednosti (npr. heraklit) i manje gustoće, te presjeci u kojih se izolator nalazi između dva tanja, gušća sloja ili su ograničeni gušćim slojem samo s jedne strane. Nepovoljnije je ako nema unutarnjeg sloja veće gustoće.

Realnosti ustanovljene na izvedenim presjecima podvrgnute su provjeri na teorijskim model-presjecima kako bi se mjerodavnije ustanovile zakonitosti odnosa toplinsko-izolacijske vrijednosti i toplinske stabilnosti u ovisnosti o vrsti materijala i redoslijedu slojeva (sl. 3,4,5). Analiza teorijskih presjeka pokazuje da dvostruko povećanje standardnog izolatora znači približno 90%-tni porast izolacijske vrijednosti (koeficijent k), ali se postiže i vrlo slično povećanje toplinske stabilnosti presjeka (razlika je oko $\pm 2\%$). Podebljanje unutarnjeg sloja betona ima malu prednost za porast toplinske stabilnosti.⁸

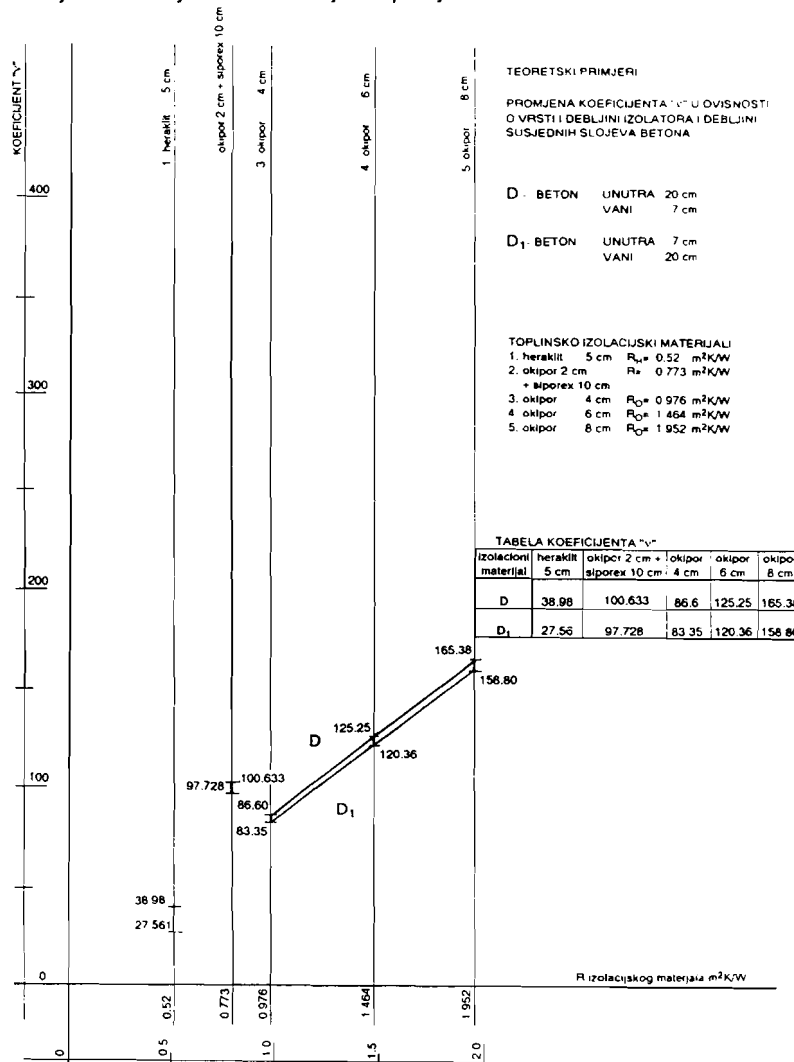
Usporedba toplinsko-izolacijske vrijednosti s vrijednošću njihove toplinske stabilnosti upozorava na značenje redoslijeda slojeva, ponajprije za toplinsku stabilnost presjeka. Ali za tu su stabilnost bitni i primijenjeni materijali te debljina slojeve koji graniče s izolatorom. Presjek s debljim standardnim izolatorom ima znatna toplinsko-izolacijska svojstva, ali deblji izolator nema veliko značenje za stabilnost presjeka pri promjenama temperature ako nije obostrano obuhvaćen gušćim materijalom određene debljine.

Za izolacijsku su vrijednost opeka i siporeks kao konstruktivni materijali povoljniji od betona, a za toplinsku stabilnost vrijedi suprotno. Nedostatak se, naravno, može nadoknaditi većom debljinom, što nije uvijek prihvatljivo rješenje.

Ukupna toplinsko-tehnička svojstva izabranih presjeka

Razmatranjem su obuhvaćene sve karakteristike, uključivši toplinsko-izolacijske vrijednosti i toplinsku stabilnost presjeka (koeficijenti k i v). Na temelju dobivenih zajedničkih vrijednosti ustanovljena je rang-lista ukupnih toplinsko-tehničkih karakteristika. Njih je bilo moguće brojčano izraziti i uspoređivati samo za neventilirane presjeke (njih 68/92), za koje se uobičajenim metodama može provesti

Slika 4.
Promjene koeficijenta v u teorijskim presjecima

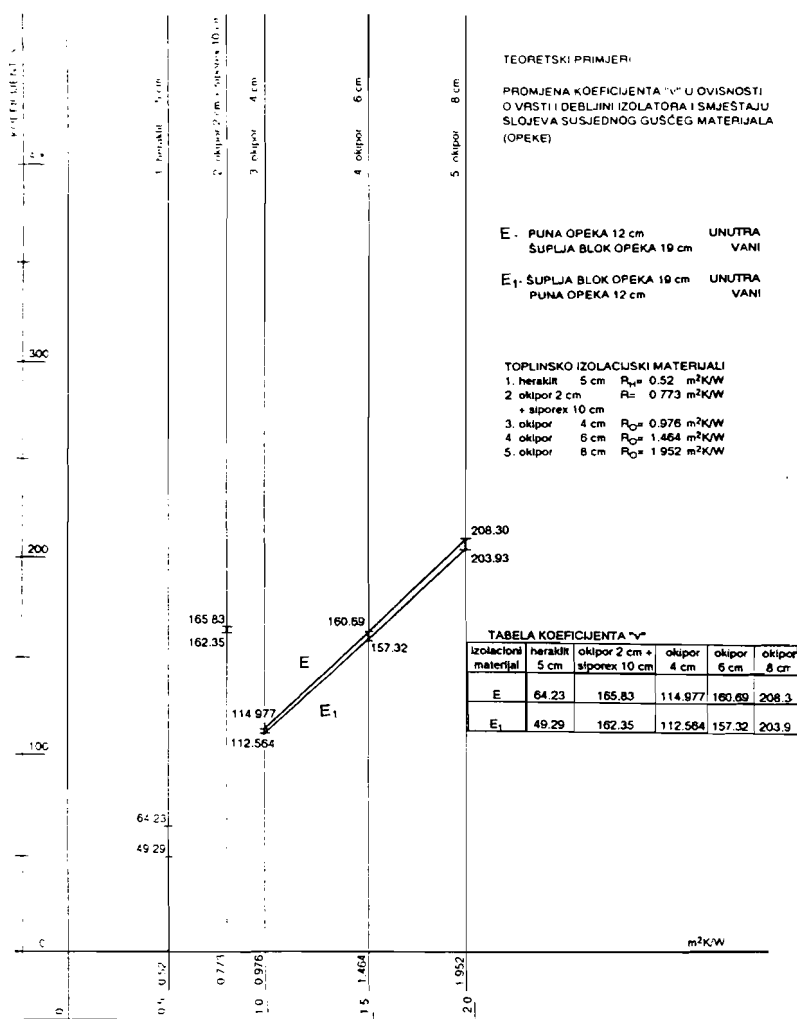


proračun stabilnosti temperature promjene punog presjeka vanjske stijene.

Ostali, tj. ventilirani presjeci svrstani su na rang-listi toplinsko-izolacijske vrijednosti (izraženi koeficijentom k), na kojoj su svi promatrani presjeci.

Najbolja toplinsko-tehnička svojstva imaju presjeci čiji je izolator dobrih izolacijskih svojstava i debljine 8-10 cm, smješten između dva gušća sloja, betona ili opeke. Vanjski zaštitni sloj izolatora na zagrebačkom je području najčešće opeka debljine 12 cm, a unutarnji beton 18-20 cm

Slika 5.
Promjene koeficijenta γ u teorijskim presjecima



debljine ili blok-opeka debljine 19 cm. Nadalje, po kvaliteti slijede presjeci s tanjim izolacijskim materijalom, 6-5-4 cm debljine, također između dva gušća sloja, pri čemu je unutarnji sloj manje debljine (15-16 cm) betona ili 12 cm opeke. Na začelju su presjeci sa standardnim izolatorom ($\lambda = 0,041$ W/mK) manjih debljina ili izolatorom manje izolacijske vrijednosti (npr. heraklit, kombi-ploča, siporeks ili toplinska žbuka), odnosno lagani presjeci nedovoljne toplinske stabilnosti.

Usporedimo li rang-listu ukupnih toplinsko-tehničkih karakteristika s rang-listom toplinsko-izolacijskih vrijednosti (izraženih koeficijentom k), može se uočiti da u području najpovoljnijih i najnepovoljnijih presjeka nema bitnih razlika u redosljedu. U srednjem području rang-liste veća su odstupanja ondje gje su akumulacijske vrijednosti povećane zbog debelih betonskih slojeva, a toplinsko-izolacijske vrijednosti smanjene zbog tanjeg izolatora. Tada su ukupne karakteristike mnogo bolje od same toplinsko-izolacijske vrijednosti presjeka. Druga mogućnost bitnijeg odstupanja javlja se onda kada je deblji standardni izolator samo s jedne strane obuhvaćen gušćim materijalom (druga je strana npr. lateks-žbuka), ili obostrano, ali tanjim slojem gustog materijala (beton 10+6 cm ili opeka 6,5+12 cm, odnosno 2x12 cm). To pak rezultira odstupanjem u suprotnom smjeru, tj. ukupna je vrijednost bitno slabija od toplinsko-izolacijske vrijednosti presjeka.⁹

b) Ekonomske karakteristike¹⁰

Cijena četvornog metra fasadne stijene ima znatan udio u cijeni stana, a ona je nezaobilazan činitelj utjecaja na nacionalno gospodarstvo. Zato nas naše današnje okolnosti obvezuju na pažljivu procjenu utroška za fasadne stijene stambenih višekatnica.

Na ekonomske karakteristike presjeka fasadnih stijena utječu dva osnovna parametra: primijenjeni materijal i način izvedbe stijene. Na temelju usporednih analiza cijene četvornog metra punog presjeka različitih primijenjenih presjeka utvrđeno je da su ekonomski opravdaniji presjeci čiji je konstruktivni materijal siporeks ili opeka nego presjeci od češće primijenjenog betona.

U početnom razdoblju siporeks je upotrebljavan isključivo samo ožbukano, što je bilo moguće u blažim klimatskim uvjetima i uz niže normative toplinsko-tehničkih svojstava. Do 1980. godine propisima se moglo udovoljiti malo manjom debljinom siporeksa. Kasnije je on dopunjen izolacijskim materijalom veće izolacijske vrijednosti, ponekad i betonom, no tada cijena više nije bila tako povoljna.

Opeka je u svim presjecima dopunjena standardnim izolacijskim materijalom. Budući da je opeka povoljnijih izolacijskih svojstava od betona, za postizanje sličnih izolacijskih vrijednosti najčešće je dovoljan izolacijski materijal malo manje debljine nego u presjecima s konstruk-

tivnim betonom. Cijena opeke obično je niža od cijene betona, pa je sve to pridonijelo da je većina presjeka s konstruktivnom opekom jeftinija od presjeka s betonom, uz slična toplinsko-izolacijska svojstva.

Vrlo visoko mjesto na rang-listi ekonomskih karakteristika (6/97) zauzima rijetko upotrebljavani STIBO-blok od opeke.

Cijena presjeka s konstruktivnim betonom varira ovisno o debljini betonskih slojeva (isključivo slojevitih presjeka), o njegovoj ulozi u konstruktivnom sustavu zgrade, te o veličini fasadne stijene i načinu izvedbe.

Potreba da u različitim okolnostima betonski sloj bude različite debljine te da se različito armira, bitno utječe na cijenu stijene. Budući da debljina betona i količina armature ovise o funkcionalnim i konstruktivnim okolnostima i djelomično su unaprijed određene, za ispunjavanje toplinsko-tehničkih zahtjeva preostaje izbor vrste i debljine izolacijskog materijala. S obzirom na relativno nisku cijenu standardnih izolacijskih materijala, osobito najčešće upotrebljavanog okipora (65/97),¹¹ te neproporcionalno veliku prednost toplinske zaštite, jasno je da se povoljniji ekonomski rezultati postižu debljim izolatorom (8-10 cm), osobito ako se uzme u obzir i dugoročni utjecaj na cijenu grijanja stambene zgrade.

Povoljniji se rezultati postižu i tanjim betonskim slojevima, postignutim najčešće prefabriciranom izvedbom.

Među najskuplje stijene izabranih uzoraka pripadaju, kako je i očekivano, lagane stijene. Budući da one imaju i izrazito velike nedostatke s obzirom na toplinsku stabilnost, čini se logičnom ograničena primjena na samo one plohe stambenih višekatnica koje su zaštićene od intenzivnog osunčavanja i za gradnje na kojima je ostakljena ploha u organizaciji prostora s funkcionalnog i psihološkog stajališta logična.

Način izvedbe fasadne stijene također utječe na njezinu cijenu. Cjelokupni presjek izveden kao prefabrikat malo je niže cijene od jednakog presjeka potpuno ili djelomično izvedenoga na mjestu gradnje. Uočeno je da se prefabrikatima pretežito koriste projektanti vezani za projektne biroe građevnih poduzeća koja te prefabrikate proizvode i kasnije i ugrađuju. Tržišta gotovih elemenata za široku primjenu gotovo i nema, a upravo bi na njima trebalo tražiti osjetno manju cijenu fasadnih stijena (ili njihovih dijelova), koja bi bila rezultat dobro promišljene i široko primjenjive velike serije prefabrikata.

Široku primjenu za fasadne stijene imaju samo obložni prefabrikati, koji u kombinaciji s klasično izvedenim osnovnim dijelom zida (češće s industrijaliziranom oplatom), nisu uvijek i ekonomski povoljni, osobito uz skupe obloge (metal, kamene ploče i sl.) te visoke cijene uređaja za vješanje obloge.¹²

Cijena ventiliranih fasadnih stijena po pravilu je malo veća od cijene ostalih neventiliranih presjeka sličnih mjerljivih karakteristika. Ipak ne treba zanemariti činjenicu da se toplinska stabilnost nije mogla uspoređivati odnosno kvantificirati kao ostale karakteristike.

Pogodnost odjeljivanja površinskog sloja od unutarnjih slojeva vezanih za osnovnu konstrukciju zgrade zaštićenu od osunčavanja znači i manju osjetljivost na probleme temperaturnog rada fasadne stijene. Taj parametar nije određivan ni uziman u obzir pri usporedbi, ali se ne smije zanemariti kao prednost ventiliranih fasada. Jednako je tako pogodnost tih fasada mogućnost izbora površinske obrade fasadne stijene jer su varijante brojne i različite.

Analiziramo li rang-listu cijena punog presjeka stijena, ustanovit ćemo da gotovo cjelokupnu prvu trećinu rang-liste (1. do 32. mjesto) čine presjeci s konstruktivnom opekom i siporeksom, uz iznimku samo dva betonska presjeka. Osim triju laganih složenih presjeka sa samog dna rang-liste (90. do 97. mjesto), dvije trećine njih (33. do 97. mjesto) gotovo su isključivo presjeci s konstruktivnim betonom.

Unutar prvih 14 mjesta nema nijednoga ventiliranog presjeka, a među 14 posljednjih deset je ventiliranih.

Budući da na cijenu ventiliranih presjeka više utječe vrsta i debljina konstruktivnog nego izolacijskog materijala, od sedam ventiliranih presjeka s gornje polovice rang-liste najviše je onih od konstruktivne opeke, a jedan je presjek od siporeksa. Međutim, 15 od ukupno 17 ventiliranih presjeka s donje polovice rang-liste ima beton kao konstruktivni materijal presjeka, na položaju koji je po pravilu obrnuto proporcionalan debljini betonskog sloja (uz jednake ostale slojeve).

Na dnu rang-liste cijena po četvornome metru punog presjeka nalaze se ventilirani presjeci s oblogom od valovitog lima, betona s kulirom, te naravnog kamena, što upućuje na značenje cijene obloge za cijenu cjelokupnog presjeka.

Zanimljivo je da je među pet presjeka koji u trenutku izvedbe nisu zadovoljavali normative toplinske zaštite samo jedan relativno niske cijene, što govori o tome da motiv izbora nije bila ekonomičnost.

Vrijednost stijena prema ukupnosti osnovnih obilježja (koeficijent k + cijena po metru četvornome)

U sklopu izabranih analiza svi se presjeci stijena mogu međusobno uspoređivati prema dva osnovna kriterija: toplinsko-izolacijskoj vrijednosti i cijeni četvornog metra punog presjeka. Vrijednost stabilnosti stijene na temperaturne promjene, a time i ukupnu toplinsko-tehničku vrijednost, nije bilo moguće primijeniti i za ven-

tilirane fasadne stijene koje se uobičajenim metodama ne mogu na isti način kvantificirati, pa ni uspoređivati. Zato je ukupnost svih promatranih parametara posebno analizirana za neventilirane fasadne stijene.

Usporedbene analize stijena prema ukupnosti osnovnih obilježja pokazuju da prednost imaju presjeci s konstruktivnom opekom, te presjeci od siporeksa (koji danas ne zadovoljavaju kriterije toplinske zaštite). Razlog tome je niža cijena i veća izolacijska vrijednost konstruktivnog materijala.

Konstruktivni beton pridonosi većoj cijeni četvornog metra presjeka nego opeka, a loša izolacijska vrijednost nadoknađuje se povećanjem debljine jeftinijeg izolatora, ali je rezultat ipak nepovoljniji. Najpovoljniji presjeci u obje izvedbe (od opeke i betona) imaju vanjski zaštitni sloj izolacijskog materijala od opeke, često bez zračnog sloja iza sebe. Sam izolacijski materijal u tim slučajevima čini najmanje 5 cm okipora ili drugog izolatora jednakih toplinsko-izolacijskih svojstava.

Prema tim kriterijima povoljne ventilirane fasade su one u kojih je izolacijska vrijednost visoka zbog debljega izolacijskog materijala visoke izolacijske vrijednosti, ili su zbog manje debljine zračnog sloja gubici manji jer zračni sloj djelomično sudjeluje u toplinskom otporu. No tada je i prozračivanje zračnog sloja slabije. Prema ukupnosti osnovnih obilježja nepovoljni su ventilirani presjeci obično skupi, i to najčešće zbog primjene skupe vanjske obloge (kamena, prirodnoga ili umjetnog, kamena s kulirom itd.).

Drugi razlog niskog mjesta na rang-listi jest slaba izolacijska vrijednost zbog primjene tanjega standardnog izolatora ili izolacijskog materijala male izolacijske vrijednosti.

Veći dio ventiliranih fasadnih stijena zauzeo je drugu polovicu rang-liste, pretežito zadnju četvrtinu liste.

Zanimljivo je utvrditi koji je od dva kriterija bio odsudan za položaj presjeka na rang-listi ukupnih osnovnih kvaliteta. Zbog neuravnoteženosti obaju kriterija pokazala se velika razlika pojedinačnih mjesta na rang-listama svakog obilježja posebno.

Nerazmjerno veliku izolacijsku vrijednost u odnosu prema cijeni imali su presjeci s debljim izolacijskim materijalom (8-10 cm) visokih izolacijskih vrijednosti (označavani su kao standardni izolatori), sa zaštitnim slojem opeke debelim 12 cm. Drugi razlog mnogo veće izolacijske vrijednosti u odnosu prema cijeni jest primjena tanjih i jeftinijih betonskih slojeva, najčešće u prefabriciranoj izvedbi. Izolacijski materijal ni tada nije tanji od 6 cm. Pritom treba podsjetiti da na toj rang-listi nije uzeta u obzir stabilnost stijene na temperaturne promjene, za koju debljina betonskih slojeva ima prvorazredno značenje.

Povoljna cijena s nerazmjerno nižom izolacijskom vrijednošću postignuta je primjenom izolatora male toplinsko-izolacijske vrijednosti (heraklita, kombi-ploča, siporeksa ili toplinske žbuke), odnosno standardnog izolatora (okipora) debljine 2-3 cm. Većina tih presjeka ima opeku kao konstruktivni materijal te ima drukčiji koncept presjeka, što upućuje na to da se i tada računalo na ekonomičnost. Ipak, konačni rezultat nije povoljan sa stajališta uravnoteženosti cijene i toplinsko-izolacijske vrijednosti presjeka izražene mjestom na rang-listi ukupnih osnovnih kvaliteta, uzimajući u obzir oba kriterija.

Velika debljina jače armiranog betona zbog veće cijene također snizuje položaj presjeka na rang-listi ukupnih osnovnih kvaliteta, posebno ako je deblji sloj smješten s hladnije strane izolacijskog materijala, pa je još potrebno postaviti i zaštitnu parnu branu s toplije strane izolacijskog materijala.

Zanimljivo je da najpovoljniji (prvih 15 mjesta na rang-listi) i najnepovoljniji (87-92 mjesta) presjeci imaju određenu uravnoteženost obaju kriterija.

Vrijednost neventiliranih stijena izražena svim promatranim karakteristikama (toplinsko-tehničkim i ekonomskim, tj. koeficijentima k i v , te cijenom po metru četvornome stijene)

Ukupna toplinsko-tehnička svojstva, zajedno s cijenom četvornog metra punog presjeka, bilo je moguće numerički izraziti i usporediti samo za neventilirane fasadne stijene, o čemu je već bilo riječi.

Na ukupnost tih obilježja osobito utječu sljedeći činitelji.

a) *Vrsta i debljina toplinsko-izolacijskog materijala*, i to tako da povećanje debljine izolacijskog sloja i veća izolacijska vrijednost izolacijskog materijala pridonose poboljšanju kvalitete.

Konstruktivnom opekom postižu se vrlo povoljni rezultati i s malo tajnijim standardnim izolatorom (mahom okiporom i mineralnom vunom), debljine 6-8 cm, jer je toplinsko-izolacijska vrijednost opeke malo veća od one betona. Za stijene s konstruktivnim betonom, sličnih izolacijskih karakteristika, primijenjen je isti izolator debljine 8-10 cm, (uz uobičajene debljine armiranog betona).

Tanji i slabiji izolator nepovoljan je činitelj ukupne kvalitete.

b) *Redoslijed slojeva presjeka i njihova obilježja*, i to radi razlike u toplinskoj stabilnosti. Prednost imaju presjeci u kojih je izolacijski materijal obostrano ograničen slojem gušćeg materijala - opeke ili betona, pri čemu stabilnosti na temperaturne promjene pridonosi i sam

izolator. S vanjske strane najčešće se postavlja sloj zaštitne opeke debljine 12 cm.

Iako je poznato da deblji i akumulacijski povoljniji materijal postavljen s toplije strane izolatora poboljšava stabilnost presjeka na temperaturne promjene, ipak to nije jedino što utječe na ukupnu kvalitetu. Samo uravnoteženi odnos svih triju osnovnih činitelja - izolacijske vrijednosti, stabilnosti na temperaturne promjene i cijene presjeka po metru četvornome daju povoljne rezultate.

Uočeno je ipak da su najpovoljniji presjeci s konstruktivnom opekom oni u kojih je unutarnji sloj blok-opeka debljine 19 cm, čiji je D, mjerodavan za toplinsku stabilnost, malo veći od D-vrijednosti 12 cm debelog sloja pune opeke s vanjske strane izolatora.

Među presjecima s konstruktivnim betonom najpovoljniji presjeci imaju unutarnji sloj betona veće debljine (min. 16 cm), ali često ne i najveće. Unutarnji betonski sloj debljine 18-20 cm, a time i neznatno bolja stabilnost na temperaturne promjene presjeka, ne može uvijek amortizirati visoku cijenu zida, pa je tada i značenje izolacijske vrijednosti, izražene koeficijentom k , mnogo veće. Stoga presjek s unutarnjim slojem betona od 16 cm, ukupnom vrijednošću ponekad premaši presjek s unutarnjim betonskim slojem od 18-20 cm, posebno ako se pojave male razlike u sastavu stijene, koje ponajprije mijenjaju cijenu (npr. vrsta i debljina vanjske žbuke ili dodatna parna brana).

Deblji, akumulacijski povoljni slojevi betona s vanjske strane (srećom, vrlo rijetki u primjeni) osunčanog presjeka imaju dvostruko negativno djelovanje: pogoršavaju toplinsku stabilnost zida i negativno utječu na okolnosti temperaturnog rada. Posljednje znači i veću pozornost pri povezivanju fasadne stijene s osnovnom konstrukcijom zgrade i pri određivanju mjesta dilatacijskih spojnica.

c) *Cijena primijenjenih materijala*, posebno konstruktivnog materijala presjeka ili čak zgrade, znatno utječe na rang-listu ukupnih kvaliteta. Niska cijena opeke u usporedbi s armiranim betonom, uz uobičajene debljine materijala, pridonosi visokome mjestu presjeka s konstruktivnom opekom na rang-listi ukupnih kvaliteta. Isti je razlog i za niže plasirane presjeke s konstruktivnim betonom i onda kad nije riječ o konstruktivnom materijalu objekta (o nosivom zidu ili zidu ukrute).

Te činjenice utjecale su na rang-listu ukupnih karakteristika:

- prvih sedam najpovoljnijih presjeka izrađeno je s konstruktivnom opekom, a na visokome trećem mjestu je STIBO-blok od opeke
- na gornjoj polovici rang-liste većina je presjeka s konstruktivnom opekom, a oni na donjoj polovici uglavnom su s konstruktivnim betonom

- presjeci od siporeksa, bez dodatnoga standardnog izolatora, nalaze se ispod sredine rang-liste, s tim da neki od njih danas ne zadovoljavaju normative toplinske zaštite. Međutim, siporeks kombiniran sa standardnim izolatorom debljine 4 cm, zauzima visoko deseto mjesto

Na začelju rang-liste su presjeci:

- s izolacijskim materijalom slabije toplinsko-izolacijske vrijednosti (heraklit na 60/68. mjesta, siporeks na 63/68. mjesta, toplinska žbuka 64/68. mjesta)
- sa standardnim izolatorom male debljine (okipor 2-3 cm na 66. i 67/68. mjesta)
- s konstruktivnim betonom većih debljina (20 cm), smještenim s vanjske strane izolacijskog materijala (66/68. mjesto)
- među najnepovoljnijih deset mjesta nalaze se tri presjeka s konstruktivnim betonom u kombinaciji sa siporeksom kao izolacijskim materijalom.

Uspoređujući značenje pojedinih karakteristika za smještaj na rang-listi ukupnih kvaliteta, može se uočiti da na visoko mjesto presjeka s konstruktivnom opekom utječu niski koeficijent k (povoljna toplinsko-izolacijska svojstva) i niska cijena po četvornome metru presjeka. Eventualno nižemu mjestu tih presjeka uzrok je niža toplinska stabilnost, što je posljedica smanjenja debljine unutarnjeg sloja opeke, a samo dodatno i manjeg smanjenja debljine standardnoga izolacijskog materijala.

Za betonske presjeke, kojima su mogućnosti slaganja višestruke pa je *ad hoc* procjena ukupne kvalitete teža, naglašeno je značenje debljine i kvalitete izolacijskog materijala. Svi osobito povoljni betonski presjeci s prve trećine rang-liste sadrže standardni izolator debljine više od 6 cm. Najnepovoljniji presjeci, međutim, sadrže izolacijski materijal male toplinsko-izolacijske vrijednosti ili tanji sloj standardnog izolatora najviše debljine 3 cm, bez obzira na debljinu unutarnjeg sloja betona.

Više mjesto betonskih presjeka na rang-listi rezultat je stabilnosti na temperaturne promjene, i to zbog utjecaja akumulacijski povoljnog betona, i veće debljine standardnog izolatora. Zato je kvaliteta uvelike pogoršana izostane li vanjski sloj koji štiti izolator dostatne gustoće i debljine.

Relativno povoljna ukupna kvaliteta može se postići i betonskim prefabrikatima od dva tanja betonska sloja, ali i tada s umetnutim izolacijskim materijalom povoljnih toplinsko-izolacijskih svojstava i najmanje debljine 6 cm. Niža cijena tanjih betonskih slojeva pritom nadomješta smanjenu toplinsku stabilnost u usporedbi sa stabilnošću debljih unutarnjih betonskih slojeva klasično izvedenih betonskih presjeka. Na relativno nižu opću kvalitetu betonskih presjeka bitno utječe visoka cijena armiranog betona, pa je za visoko mjesto na rang-listi potrebno postići povoljan odnos svih triju činitelja.

Primjena siporeksa bez dodatnoga standardnog izolatora i dodatnog betona nepovoljna je zbog relativno male toplinsko-izolacijske vrijednosti siporeksa u usporedbi sa standardnim izolatorom te nepovoljne specifične topline u usporedbi s betonom, mjerodavne za toplinsku stabilnost presjeka. Zadovoljavajuće rješenje zahtijevalo bi neopravdano velike debljine presjeka.

Vrlo nepovoljnu ukupnu kvalitetu imaju složeni presjeci laganih fasadnih stijena, koji osim visoke cijene imaju i vrlo nisku stabilnost na temperaturne promjene. To se osobito očituje na osunčanoj strani bez odgovarajuće zaštite i vrlo skupe umjetne ventilacije, neuobičajene za višekatne stambene zgrade.

Neki negativni ili pozitivni činitelji katkad se mogu pronaći i u srednjoj grupaciji rang-liste ukupnih obilježja, no to su iznimke koje potvrđuju pravilo da sve odrednice u koncepciji presjeka djeluju zajednički i određuju ukupnu kvalitetu samo ako su promatrane u cjelini.

Usporedba dviju rang-lista ukupnih karakteristika (osnovnih i svih promatranih) pokazuje da razlike u toplinsko-izolacijskoj vrijednosti i toplinskoj stabilnosti presjeka utječu na ukupnu kvalitetu, ali na nju utječe i zajednička karakteristika svih presjeka - cijena po četvornome metru. Pokazalo se da osjetne razlike u kvaliteti s obzirom na dva kriterija ima čak trećina promatranih presjeka.⁹

Ipak, najpovoljniji i najnepovoljniji presjeci nalaze se na približno istim mjestima obje rang-liste. Bitne razlike počinju od 16, a završavaju na 51. od ukupno 68 mjesta.

Osjetne razlike na dvije rang-liste, tj. neuravnoteženost obiju kvaliteta, dokazuju da postoje određene zakonitosti u tim razlikama.

Mnogo povoljnija osnovna obilježja (bez toplinske stabilnosti) imaju presjeci:

- s obostrano postavljenim tankim slojem opeke (6,5+12 ili 2x12 cm debljine), te
- s konstruktivnim siporeksom bez dodatnoga izolacijskog materijala veće izolacijske vrijednosti.

Bitno povoljnija ukupna svojstva (s toplinskom stabilnosti) pokazali su presjeci:

- s unutarnjim slojem debljeg betona (18-20 cm) i vanjskom zaštitom od 12 cm debelog sloja opeke te srednjim slojem standardnog izolatra ($\lambda = 0,041 \text{ W/nK}$) debljine veće od 5 cm.

Čak i nepovoljna vanjska postava debljeg betona čini presjek povoljnijim na rang-listi ukupnih kvaliteta.

ZAKLJUČAK

I površan pregled izabranih fasadnih stijena i objekata kojima pripadaju pokazuje nekoliko bitnih karakteristika ovisnih o:

1. mjestu fasadne stijene u konstruktivnom sustavu zgrade,
2. općim karakteristikama presjeka,
3. materijalu,
4. načinu izvedbe.

Iz tog se mogu izvesti korisni zaključci za buduće izvedbe.

ad 1.

Gotovo cjelokupni stambeni fond promatranih višekatnica u Zagrebu (94%) ima poprečne nosive zidove, što u funkcionalnom smislu omogućuje bolje otvaranje fasadne stijene te bolje povezivanje vanjskoga i unutarnjeg prostora.

U konstruktivnom smislu to znači mogućnost naknadne izvedbe fasadne stijene, odnosno mogućnost primjene tunelske oplata, logičnoga tehnološkog procesa za armirano-betonske konstrukcije zidova i međukatnih ploča.

Tako je gotovo sustavno odijeljena nosiva konstrukcija od fasadne stijene, osim završne stijene sustava poprečnih zidova.

Kako je na području Zagreba povezani niz stambenih jedinica dosegno znatnu duljinu cjelokupnog objekta (čija je oblikovna karakteristika pomak ravnine prostiranja pojedinačnih jedinica, npr. Dugave i Špansko), završna fasadna stijena (zabatna) ima manji udio u ukupnoj količini fasadnih stijena, pa se može smatrati atipičnom.

ad 2.

Znatan broj presjeka su višeslojni, u skladu s općim trendovima korištenja male količine materijala u funkciji njihovih najpovoljnijih karakteristika, čak i onda kad je riječ o nenosivim zidovima. Iako je podjela na nosive i nenosive zidove provedena prema stvarnoj konstruktivnoj funkciji unutar objekta, zamijećeno je da se katkada gotovo u konceptu identični presjeci pojavljuju jedanput kao nosivi, a drugi put kao nenosivi. Pritom je izuzeta razlika u debljini i armaturi, koja za našu temu nije imala veće značenje zbog nedostatka pouzdanih podataka. Pokazalo se tako da uloga u konstruktivnom sustavu zgrade bitno ne utječe na naše usporedne analize.

ad 3.

Materijal nosive konstrukcije stambenih višekatnica pretežito je armirani beton, no znatniji dio nenosivih fasadnih stijena ima konstruktivni dio samog presjeka izveden također od armiranog betona. Količinu uvelike povećavaju fasadni prefabrikati, upotreba kojih je u očitom porastu, iako njihov broj još ne zadovoljava u usporedbi s trendovima razvijenih zemalja.

Drugi je materijal po učestalosti primjene opeka, iako se pokazuje da takvi presjeci po ukupnim karakteristikama imaju određenu prednost.

ad 4.

Od fasadnih prefabrikata najčešći su armiranobetonski parapetni prefabrikati, kakve pretežito upotrebljavaju prijekanti vezani za građevna poduzeća koja te prefabrikate proizvode.

Analizom izabranih uzoraka (97 u početnoj fazi, 92 detaljno) ustanovljeno je sljedeće.

Promatranjem najčešće primjenjivanog sustava poprečnih zidova od armiranog betona, dio kojih su i fasadni (zabatni) zidovi, te parapetnih prefabrikata, logično je da je udio armiranog betona kao konstruktivnog materijala fasadnih stijena dominantan, iako drugi materijal po zastupljenosti - opeka pokazuje prednosti koje možda nisu dovoljno iskorištene, posebno ne ekonomske. STIBO-blok od opeke, koji je na rang-listama ukupnih karakteristika vrlo visoko plasiran, u Zagrebu se neopravdano malo upotrebljava za izvedbu fasadnih stijena. Preporuča se za fasadne nenosive stijene povećati udio opečnih elemenata u sklopu višeslojnih stijena. Posebno treba preporučiti STIBO-blok, koji je već izrađen kao višeslojni presjek.

Siporeks se danas pokazuje materijalom pogodnim samo u sklopu višeslojne fasadne stijene. Uz suvremene normative za toplinsko-tehničku zaštitu klasična, samostalna izvedba presjeka s dodatnom žbukom zahtijevala bi neopravdano velike debljine presjeka od siporeksa.

Karakteristike laganih stijena ne bi opravdale njihovu veću zastupljenost unutar fasadnih stijena, izuzimajući ostakljene stijene, u kojih je dominantna zadaća vizualna i fizička veza između unutarnjega i vanjskog prostora, uz poštovanje zahtjeva za zaštitom od sunca. Primjena ostakljenih stijena opravdana je i česta u praksi za plohe dnevnog boravka zaštićenoga lođama.

Vrlo malo presjeka u trenutku izvedbe nije zadovoljavao toplinsko-tehničke zahtjeve, uključivši i onaj o sigurnosti od pojave difuznog kon-

denzata na neprihvatljivome mjestu unutar presjeka. Upitno je, međutim, kako se moglo izvesti i taj mali broj presjeka uz propisanu kontrolu u sklopu izdavanja građevinske dozvole. Određeni broj presjeka nije prihvatljiv s današnjeg stajališta, no kako su u trenutku izvedbe bili zadovoljavajući, danas se to može samo ustanoviti, uz procjenu bi li u interesu komfora i ekonomičnosti grijanja bilo oportuno poboljšati izrazito nepovoljne presjeke, posebno ako je riječ o punim zabatnim stijenama.

Analize su pokazale da treba poticati daljnje povećanje izolacijske vrijednosti fasadne stijene. U danas nezaobilaznih višeslojnih presjeka fasadne stijene, i onda kada se tradicionalno radilo o tzv. jednoslojnim (opeka, siporeks), nositelj izolacijske vrijednosti zida je tzv. toplinsko-izolacijski materijal. Povećanje njegove debljine vrlo malo opterećuje cijenu presjeka po četornome metru jer je sam materijal (osobito najčešće primjenjivani okipor) jeftin u usporedbi s ostalim materijalima presjeka, a razlika u cijeni postavljanja, za malu razliku debljine, zanemariva je.

Na zagrebačkom području danas prevladava debljina standardnoga (λ oko 0,041 W/mK) izolacijskog materijala od 4-6 cm,¹³ no pokazalo se da su povoljniji presjeci s izolatorom debljine 8-10 cm, ako se promatraju svi činitelji kvalitete (ne samo njihova izolacijska vrijednost). Malo povećanje cijene zbog povećanja debljine izolacijskog materijala ima puno opravdanje u znatnom povećanju toplinsko-izolacijske vrijednosti stijene, što znači u ugodnijem boravku u stambenim prostorima, ali i u smanjenju cijene grijanja tijekom korištenja zgrade.

Vanjska zaštita ožbukanom ili fasadnom opekom dala je dobre rezultate iako je jednom riječ o višeslojnomu, a drugi put o ventiliranom presjeku. Ventilirana je fasada malo skuplja, što se u ukupnim promatranim obilježjima iskazuje kao manje povoljno. Ipak treba naglasiti da su nezaobilazne i druge prednosti ventilirane fasade s fasadnom opekom: izgled, trajnost i nepotrebnost kasnije obnove, uz ostale prednosti ventiliranih fasadnih stijena (bez obzira na vrstu obloge): dobru toplinsku stabilnost stijene, sigurno izbjegavanje difuzne i eventualne oborinske vlage (uz nedovoljno nepropusnu vanjsku oblogu), te zaštita od pretjeranoga temperaturnog rada konstruktivnog betona.

Financijske će okolnosti za stambene višekatanice često ograničiti izbor ventilirane fasadne stijene, pa se zato treba podsjetiti da su na zagrebačkom području povoljni rezultati postignuti i vanjskim završnim slojem višeslojnog presjeka s ožbukanom opekom, uz poštovanje potrebe za zaštitom od difuznog kondenzata na nepovoljnome mjestu unutar presjeka, i uz nužnu pozornost s obzirom na zaštitu od infiltriranja oborinske vlage iza opeke.

Način izvedbe najčešće je klasičan, u najboljem slučaju industrijaliziran primjenom tunelskih oplata, rjeđe prebariciran, a i tada je projektiran

unutar poduzeća koje izvodi cjelokupni objekat. To je razlog zašto nisu postignute osjetno niže cijene, koje su obilježje većih serija otvorene prefabrikacije. Iskustva s parapetnim prefabrikatima pokazuju buduće razvojne smjerove.

Uz već danas uniformnu visinu stambenog kata, uz modularnu kordinaciju pri izboru raspona, uz prihvaćene konstruktivne tipove stambenih višekatnica, ne vidimo zašto se uz sve veće potrebe stanogradnje taj model ne bi mogao proširiti. To bi bilo korisno s ekonomskoga, ali i sa stajališta funkcionalnih i oblikovno uspješnih elemenata čija bi kvaliteta bila detaljnije razrađena i kontrolirana u industrijskom pogonu. Ponudu bi obogatili vertikalni paneli visoki kao etaža, što bi proširilo funkcionalne i oblikovne mogućnosti.

Uniformnost kao obilježje teške prefabrikacije cjelokupnog objekta ne bi imala realnu podlogu ni stvarno opravdanje. Već mnogo godina na tržištu prisutni industrijski proizvedeni ostakljeni elementi, ograničenog broja dimenzija ali većih serija, zorno dokazuju da se radom dobrih arhitekata izbjegava zamka uniformnosti.

Moglo bi se možda napomenuti da je izvedba STIBO-blokom od opeke donekle nadoknadila u svijetu često upotrebljavan tip prefabrikata od opeke većeg formata i heterogenog presjeka, kakvoga na zagrebačkom području nema.

Valjalo bi, međutim, ispitati opravdanost takvog zanemarivanja prefabrikata, koji u područjima s bogatom i razvijenom opekarskom industrijom u svijetu ima svoje mjesto.

STIBO-bloku od opeke svakako treba omogućiti veću primjenu u fasadnim stijenama jer se osim povoljne izolacijske vrijednosti i relativno niske cijene, postiže debljina zida od 35 ili 38 cm, što je prosječna debljina fasadnih stijena od ostalih primjenjivanih materijala.

Bilješke

¹ Misli se na konstruktivni materijal samog presjeka, bez obzira na materijal od kojeg su izvedeni konstruktivni elementi zgrade.

² Razmatrane su cjelokupne fasadne stijene, a izostavljeni djelomični elementi ostakljenih stijena (npr. dnevnog boravka). Kada se govori o betonu kao konstruktivnom materijalu presjeka, uvijek se misli na armirani beton.

³ Vujović, O., *Mjesto i specifičnost vanjske stijene u industrijalizaciji građenja*, doktorska disertacija, 1986.

⁴ Ukupnu veličinu i cijenu fasadnog platna valjalo bi promatrati u odnosu prema odgovarajućoj stambenoj jedinici, a za usporedbu bi trebalo obuhvatiti i mnoga druga obilježja (raspone, rezultirajuću tlocrtnu dispoziciju, orijentaciju i sl). Takav pristup pokazao bi da na istom objektu pojedini dio fasadne stijene ima različite osobine, mjerodavne za složeniju procjenu vrijednosti.

Ostakljene plohe imaju gotovo jednaka obilježja presjeka (dvostruko ostakljenje termoozolacijskim staklom pretežito brtvljeno). No postotak ostakljenja prema punoj plohi unutar stambene jedinice odnosno unutar pojedinačnog raspona kreće se čak od 20 do 80%.

⁵ Vrijednosti zvučne zaštite stijena izostavljene su iz razmatranja i prepuštene specijaliziranim ustanovama i istraživačima koji uz vrlo opsežna dodatna istraživanja mogu provesti i potrebna mjerenja.

⁶ Za računalnu analizu toplinsko-tehničkih obilježja pojedinih presjeka zahvaljujemo ljubaznosti poduzeća Coning iz Varaždina, koje ju je za nas obavilo.

⁷ Zastupljenost ventiliranih fasada unutar promatranih presjeka iznosi oko 25% (24/92-97). Zaštitna vanjska obloga je u približno 63% slučajeva opeka, zatim po učestalosti primjene slijedi beton odnosno umjetni kamen (3/92). Samo malobrojni presjeci imaju vanjsku zaštitu ventiliranog sloja izvedenu od valovitog lima, salonita, stakla ili naravnog kamena (po jedan ili dva presjeka).

⁸ Analizirani presjeci - modeli sastoje se od dva betonska sloja debljine 15(20) + 7 cm, te okipora od 4 i 8 cm debljine. Deblji betonski sloj, postavljen s unutarnje strane, ima prednost glede toplinske stabilnosti, u odnosu prema jednako debelom sloju postavljenom s vanjske strane izolatora, i to za oko 4% vrijednosti koeficijenta v.

⁹ Kriterij koji smo uzeli kao mjerodavan bila je međusobna razlika plasmana od 15. do 20. mjesta na dvije rang-liste.

¹⁰ Promotreno je svih 97 presjeka.

¹¹ Za ukupno 97 presjeka korišteni su ovi izolatori: okipor na 65 presjeka; porofen na 5; mineralna vuna na 11; heraklit na 2; kombi-ploča na 2; siporeks na 9 (od čega samo 2 presjeka s ožbukanim siporeksom, a kod ostalih 7 presjeka upotrijebljena je kombinacija s betonom), te toplinska žbuka za 3 presjeka.

¹² Obložni vanjski prefabrikat primijenjen je za 9 presjeka, i to: umjetni kamen za 3 presjeka, metal za 2, salonit za 2, armirano staklo za 1 i kamene ploče za 1 presjek.

¹³ Debljina standardnoga toplinsko-izolacijskog materijala u promatranim presjecima iznosi:

- debljina 4-6 cm u 52 od 97 presjeka, oko 54%
- debljina veća od 4 cm u 15 od 97 presjeka, tj. oko 15,5%
- debljina manja od 4 cm u 14 od 97 presjeka, tj. oko 14%
- druge vrste manje povoljnih izolatora u 16 od 97 presjeka, tj. oko 16,6%.

* Suradnici u istraživanju bili su:

- Marija Rebec i Mateo Biluš
- Poduzeće Coning - Varaždin, za računalnu obradu toplinsko-tehničkih karakteristika pojedinih presjeka.

Summary

CHARACTERISTICS OF FACADE WALLS ON MULTI-STOREY BLOCKS OF FLATS IN ZAGREB

Olga Vujović

We analyzed 97 facade walls on 58 multi-storey blocks of flats built in Zagreb in the last twenty years. The walls were classified according to section and the material used, and two of their major characteristics were investigated: thermaltechnical and economic. The values obtained were quantified and graded, and rank-lists were made for every characteristic separately, and for all of them together, showing the total measurable qualities. The research results showed that (a) a multi-layer section is desirable for all construction materials, including siporex, (b) the advantages of masonry as a construction material for non-bearing external walls were not sufficiently used, especially in the case of STIBO-blocks, (c) increasing the isolation properties of the section should be encouraged because this raises costs very little, (d) it would be economical and raise the quality of facade walls to increase the assortment of prefabricated facade elements, so-called open prefabrication, making large series in various sizes, and especially in various widths.