BIBLID 0350-1426 (1999) 28:2-3 p. 79-84 UDK 697.133

Povodom novog standarda o toplotnoj zaštiti zgrada

Januara 1998. godine donesen je novi standard JUS.U.J5.600 „Toplotna tehnika u građevinarstvu – Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada", kao zamena za prethodno važeći standard iz 1987. godine. Neki delovi novog standarda izazvali su veliku polemiku u stručnoj javnosti. Pokrenuta je čak i inicijativa za povlačenje toga standarda iz upotrebe, da bi se korigovao, dopunio i doradio. Iako taj standard pripada grupi jugoslovenskih standarda u oblasti građevinarstva, on se velikim delom odnosi i na termotehničke proračune u mašinstvu.

U prošlom broju časopisa „KGH" kategorisane su metode proračuna toplotnih gubitaka zgrada u zavisnosti od namene korišćenja rezultata i potrebnog nivoa detaljnosti i tačnosti proračuna. U ovom i narednom broju „KGH" biće izložen pregled teorijskih osnova proračuna toplotnih gubitaka zgrada, uobičajenih pretpostavki i uprošćenja modela prenosa toplote i materije u prostorijama.

Teorijske osnove proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade

Dr Branislav Živković, dipl. inž., Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80 11000 Beograd

Prenos toplote transmisijom kroz građevinski omotač zgrade predstavlja vrlo složen fizički proces, koji se sastoji iz kombinacije osnovnih, međusobno zavisnih mehanizama prenosa toplote. Za potrebe inženjerske prakse bilo je neophodno uprostiti fizički model prenosa toplote i materije u zgradi i odrediti izraze za približno numeričko rešenje. U radu su izložene osnovne postavke proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade. Analizirani su najuticajniji parametri i navedene neke njihove specifičnosti. Metodologija proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade klasifikovana je prema „nivou tačnosti", čiji izbor zavisi od namene korišćenja izračunatih toplotnih gubitaka (određivanje toplotne zaštite zgrade, dimenzionisanje grejnog sistema, energetski proračuni godišnje potrošnje toplotne energije i poređenje efikasnosti različitih sistema za grejanje).

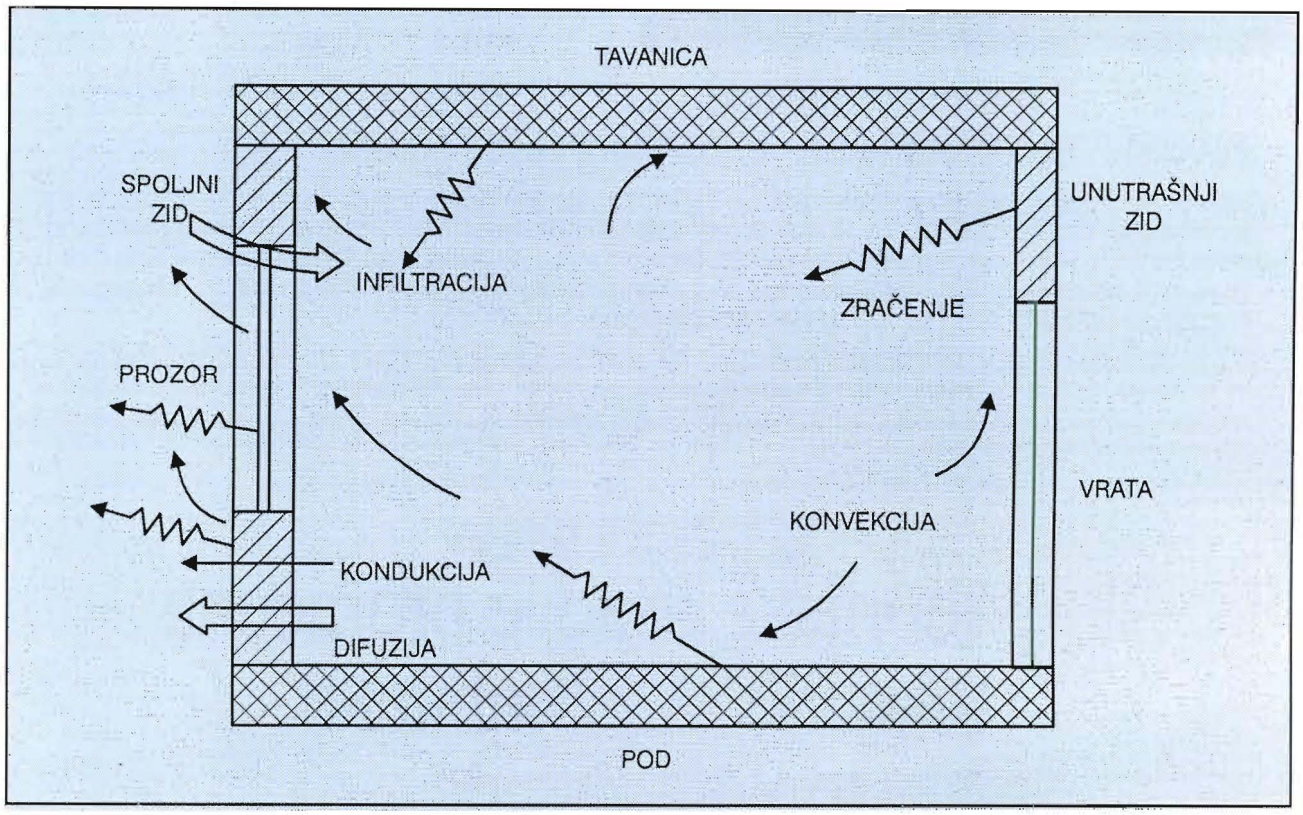
Ključne reči: transmisioni toplotni gubici; nivo proračuna; građevinska fizika; projekat grejanja

Key words: transmission heat losses; accuracy level; building physics; heating system

1. Uvod

Toplotni gubici prostorije predstavljaju toplotu koju neka zatvorena prostorija odaje okolini u jedinici vremena. Transmisioni gubici toplote obuhvataju prolaz toplote kroz građevinske elemente koji formiraju zatvoreni prostor. Prenos toplote kroz građevinski omotač zgrade je vrlo složen proces i sastoji se iz kombinacije osnovnih, međusobno zavisnih mehanizama prenosa toplote: konvekcije, kondukcije i zračenja. Proračun toplotnih gubitaka prostorije postaje još složeniji, jer se najčešće odvija simultano sa prenosom materije (infiltracija vazduha kroz procepe prozora i vrata i difuzija vodene pare kroz zidove).

Sa sobnog vazduha, čija se temperatura u zimskom periodu održava pomoću sistema za grejanje, toplota se prenosi konvekcijom na unutrašnje površine u prostoriji (slika 1). S obzirom da je temperatura unutrašnje površine spoljašnjeg zida, a pogotovo prozora, niža od temperature površine unutrašnjih zidova, poda i tavanice, postoji prenos toplote zračenjem sa tih površina na spoljni zid i prozor.



Slika 1. Presek prostorije sa osnovnim procesima prenosa toplote i materije

Kroz spoljašnji zid i prozor toplota se prenosi kondukcijom (provođenjem) ka spoljašnjoj površini tih elemenata. Kondukcija se javlja i kroz unutrašnje zidove pri različitim temperaturama susednih prostorija, pa čak i kada su temperature vazduha u obe prostorije jednake, ali su različite temperature površina unutrašnjeg zida zbog različite razmene toplote zračenjem između tih i okolnih površina.

Sa spoljašnje površine zida, odnosno prozora, toplota se predaje konvekcijom spoljašnjem vazduhu, a zračenjem okolnim površinama. Na razmenu toplote konvekcijom, osim temperature okolnog vazduha, utiču i brzina i pravac vetra.

Vetar, u kombinaciji sa uzgonskom silom, utiče i na količinu vazduha koja infiltracijom prodire u zagrevanu prostoriju. Osim što je za zagrevanje tog vazduha od spoljašnje do unutrašnje temperature potrebna određena količina toplote, struja hladnog vazduha „remeti" i strujno polje u blizini prozora i spoljnjeg zida (izazvano prirodnom konvekcijom u zagrevanoj prostoriji), a time i prenos toplote sa sobnog vazduha na unutrašnje površine.

Difuzija vodene pare kroz zidove, kao posledica različitih vrednosti parcijalnih pritisaka u prostoriji i spoljašnjoj sredini, utiče na promenu vlažnosti materijala zida, a time i na promenu njegove toplotne provodljivosti. Vlažnost zida se povećava pri delovanju kiše i podzemnih voda.

Mada su u ovom uvodu navedeni samo osnovni mehanizmi prenosa toplote u zagrevanoj prostoriji, vidi se da su oni mnogobrojni i međusobno zavisni. Kada se ovome doda i prenos toplote sa uređaja za grejanje, može se videti koliko je složen precizan proračun prenosa toplote u zagrevanoj prostoriji.

2. Pretpostavke i uprošćenja fizičkog modela prenosa toplote u prostoriji

Današnji razvoj numeričkih metoda, uz korišćenje moćnih računara, omogućava relativno tačno izračunavanje intenziteta razmene toplote u zagrevanoj prostoriji, odnosno zgradi u celini. Međutim, ti proračuni su još uvek skupi, zahtevaju dosta računarskog vremena i nepraktični su za svakodnevnu primenu.

Za potrebe inženjerske prakse, bilo je neophodno uprostiti fizički model prenosa toplote i materije u zgradi i odrediti izraze za približno numeričko rešenje. U zavisnosti od primenjenih uprošćenja fizičkog modela, postoji više nivoa proračuna toplotnih gubitaka zgrade i oni se koriste za različite inženjerske potrebe.

Osnovne pretpostavke i uprošćenja su:

1. *Jednodimenzioni prenos toplote kroz građevinski omotač prostorije.* U slučaju postojanja toplotnih mostova vrše se određene korekcije, ali se u svim metodama proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade zadržava koncept jednodimenzionog prenosa toplote u pravcu najvećeg gradijenta temperature (unutra – spolja). Furijeova jednačina provođenja toplote kroz izotropan i homogen materijal svodi se na oblik:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial^2 x} \qquad (1)$$

2. *Stacionarni uslovi prenosa toplote (nepromenljivost temperature i ostalih parametara u vremenu).* Ovo je prihvatljiva pretpostavka kada se transmisioni gubici toplote računaju za projektne uslove, koji traju određeni, dovoljno dugi period vremena. Uz ovu pretpostavku, Furijeova jednačina provođenja toplote se još

više uprošćava, jer leva strana jednačine (1) postaje jednaka nuli:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0 \qquad (2)$$

3. *Nepromenljivost fizičkih veličina duž građevinskog elementa.* Koeficijent prelaza toplote α, toplotna provodljivost λ, gustina ρ i specifični toplotni kapacitet c se ne menjaju.
4. *Uniformnost temperaturskog polja u prostoriji.* Temperatura vazduha je konstantna u vremenu i prostoru.
5. *Prenos toplote sa građevinskog elementa konvekcijom i zračenjem računa se objedinjeno preko kombinovanog koeficijenta prenosa toplote, koji se naziva koeficijent prelaza toplote α, mada sadrži i komponentu prenosa toplote zračenjem.*

Uz navedene pretpostavke i uprošćenja, proračun transmisionih gubitaka toplote kroz građevinski element vrši se pomoću opšteprihvaćene formule:

$$Q = k \cdot A \cdot (t_u - t_0) \qquad (3)$$

Jednačina (3) je verifikovana kroz višegodišnju praksu tehnike grejanja i smatra se da daje zadovoljavajuće rezultate. Prvobitno je izvedena za klasični način gradnje (opeka i malter), dok se u poslednje vreme primenjuje za veoma različite građevinske materijale i konstrukcije i širok opseg meteoroloških uslova.

Navedena uprošćenja (1–5), koja, s jedne strane, omogućavaju relativno jednostavan postupak proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade, predstavljaju u isto vreme i ograničavajuće faktore u primenljivosti izraza (3). U sledećem delu rada analizirani su parametri u jednačini (3) i navedene neke njihove specifičnosti.

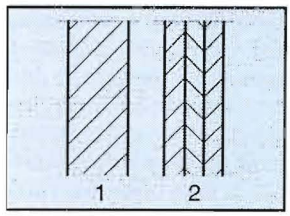
3. Koeficijent prolaza toplote *k*

U skladu sa usvojenim konceptom jednodimenzionog prostiranja toplote, koeficijent prolaza toplote se računa prema poznatom izrazu iz teorije kombinovanog prenosa toplote (prelaz toplote, provođenje i prelaz):

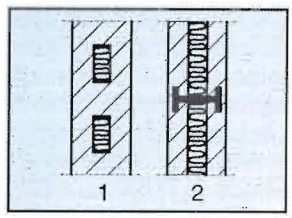
$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_i + \frac{1}{\alpha_s} \qquad (4)$$

Strogo uzevši, izraz (4) se može primeniti samo za jednostavne građevinske konstrukcije (slika 2). U složenim građevinskim konstrukcijama sa termoizolacionim slojem i elementima veze (slika 3), kao i na spojevima građevinskih elemenata (spoljni zid i međuspratna konstrukcija, sučeljavanje dva zida, spoj zida i stolarije, odnosno bravarije – slika 4) stvarni proces prenosa toplote odstupa od usvojenog modela jednodimenzionog transporta toplote. Ova odstupanja se donekle, mada samo približno, obuhvataju tzv. linijskim i tačkastim otporima prolazu toplote. Za zidove izrazito složene konstrukcije, ukupni koeficijent prolaza toplote može se precizno odrediti samo laboratorijskim merenjima.

Toplotna provodljivost λ zavisi od temperature i vlažnosti materijala, i u proračunima transmisionih gubitaka toplote koristi se osrednjena vrednost. Temperatura spoljašnjeg zida u blizini spoljne površine varira, u našim klimatskim uslovima, u intervalu od –15°C do +60°C.



Slika 2. Jednoslavnije građevinske konstrukcije; 1 – jednoslojni zid, 2 – višeslojni zid sa paralelnim slojevima



Slika 3. Složenije građevinske konstrukcije; 1 – heterogeni zid, 2 – zid sa toplotnim mostovima

Još je izraženiji uticaj vlažnosti materijala na toplotnu provodljivost. Takođe, stvarne vrednosti λ za izvedene konstrukcije na objektu često odstupaju od kataloških vrednosti izmerenih u laboratoriji pri idealnim uslovima.

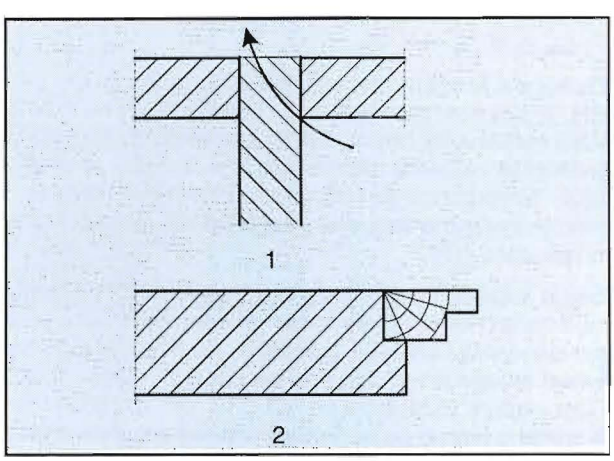
U izrazu za koeficijent prolaza toplote k figurišu i koeficijenti prelaza toplote α, sa unutrašnje i spoljašnje površine zida (prozora, vrata, tavanice) na vazduh ili obrnuto. To su kombinovani koeficijenti prenosa toplote koji svode na linearnu temperatursku razliku $(t_u - t_0)$ kako uticaj konvektivnog prenosa toplote, tako i razmenu toplote zračenjem sa okolnim površinama. Vrednosti koeficijenta α izračunate su za neke standardne uslove, a u proračunu transmisionih gubitaka toplote primenjuju se za sve slučajeve. Koeficijenti α smatraju se konstantnim duž cele površine elementa.

Rezultati vrlo opsežnih merenja sprovedenih na Univerzitetu u Viskonsiju, SAD, pokazuju da se vrednost koeficijenta prelaza toplote znatno menja duž površine zida, a da srednja vrednost α najviše zavisi od sistema za grejanje i broja izmena vazduha na sat u prostoriji, što nijedan postojeći standard za proračun toplotnih gubitaka zgrade ne uzima kao parametar pri izboru koeficijenta prelaza toplote.

Koeficijent prelaza toplote sa spoljašnje strane zida (krova, prozora) zavisi, pre svega, od brzine vetra. U svim standardima se propisuju vrednosti tih koeficijenata izračunate za neku usvojenu brzinu vetra, i ta vrednost se koristi za sve meteorološke uslove i nezavisno od vetrovitosti same lokacije.

4. Površina, *A*

Merodavna površina elementa kroz koji se prenosi toplota u zagrevanoj prostoriji može se definisati na razli-



Slika 4. Spojevi zidova; 1 – spoj dva zida, 2 – spoj zida i stolarije

čite načine. Može se računati sa unutrašnjim dimenzijama zida, ili sa spoljašnjim, mada se u većini slučajeva prave različite kombinacije unutrašnjih i spoljašnjih gabarita: unutrašnja širina zida kombinovana sa spratnom visinom (obuhvata i debljinu međuspratne konstrukcije); ili svetla visina prostorije (od poda do tavanice) u kombinaciji sa rezultujućom širinom zida koja obuhvata i polovine debljine bočnih pregradnih zidova i sl. Cilj ovakvog određivanja relevantne površine je da se, slično kao i pomoću linijskih koeficijenata prolaza toplote, u usvojenom konceptu jednodimenzionog prenosa toplote, na neki način obuhvati realno višedimenzioni prenos toplote koji se i kod elementarnih konstrukcija (homogeni zid) javlja u zoni spajanja konstrukcija.

Fizikalno posmatrajući, korektnije je računati sa površinom dobijenom pomoću unutrašnjih dimenzija građevinskog elementa. Najbolje rešenje je da se određivanje merodavne površine spregne sa metodologijom proračuna koeficijenta prolaza toplote kroz tu površinu.

5. Unutrašnja projektna temperatura t_u

Unutrašnja projektna temperatura se određuje prema nameni prostorije, odnosno u skladu sa potrebama investitora i korisnika objekta. Postoje različita mišljenja o tome šta fizički predstavlja unutrašnja projektna temperatura. U domaćoj inženjerskoj praksi je ustaljeno da se temperatura vazduha merena u sredini prostorije na visini od 1,2 m od poda termometrom zaštićenim od zračenja identifikuje sa unutrašnjom projektnom temperaturom. Na sličan pristup se nailazi i u mnogim svetskim standardima za proračun potrebne količine toplote za grejanje starijeg datuma, samo što se razlikuje visina na kojoj se meri temperatura vazduha: 0,8, 0,9, 1 m od poda, ili sredina visine prostorije.

Činjenica je da temperatursko polje u prostoriji nije uniformno. U svakoj prostoriji postoji manje ili više izražena stratifikacija temperature vazduha po visini prostorije, kao i promena temperature vazduha po dubini prostorije (ovaj gradijent umnogome zavisi od instalisanog sistema za grejanje).

Za odavanje toplote čoveka i postizanje termičkih uslova ugodnosti u zatvorenom prostoru, pored temperature vazduha t_v, od velike važnosti je i srednja temperatura okolnih površina t_z, pa se pod unutrašnjom projektnom temperaturom često podrazumeva tzv. rezultujuća temperatura t_{rez}, koja je linearna funkcija prethodno navedenih temperatura:

$$t_{rez} = M \cdot t_v + N \cdot t_z \qquad (5)$$

Koeficijenti M i N mogu imati različite vrednosti. Oni zavise, pre svega, od intenziteta strujanja vazduha u prostoriji (najuticajniji faktor je sistem za grejanje). U tehnici grejanja se najčešće usvaja da je $M = N = 0,5$. Za rezultujuću temperaturu se često, kao sinonimi, koriste i termini: ekvivalentna temperatura u prostoriji i ambijentalna temperatura [10].

Brojna istraživanja sprovedena u Nemačkoj 70-tih godina, koja su poslužila kao osnov za donošenje nove verzije standarda DIN 4701 ukazala su na daleko veću složenost relacije između unutrašnje projektne temperature i temperature vazduha u prostoriji. U tom standardu se eksplicitno navodi da je unutrašnja projektna temperatura jedna fiktivna temperatura na osnovu koje se vrši proračun transmisionih gubitaka toplote, a da se stvarna temperatura vazduha u prostoriji može odrediti tek posle kompletno sprovedenog proračuna, na bazi usvojene unutrašnje projektne temperature. Krišerove vrednosti (srednja vrednost ukupnog koeficijenta prolaza toplote za celu prostoriju), odnosa ventilacionih i transmisionih gubitaka toplote i odabranog sistema grejanja [4].

6. Spoljna projektna temperatura t_{sp}

Spoljna projektna temperatura predstavlja jedan od elemenata spoljnih projektnih uslova (drugi bitan je brzina vetra pri toj temperaturi).

Postoji veliki broj kriterijuma za određivanje spoljne projektne temperature, a zajedničko im je da su svi bazirani na statističkoj obradi temperatura vazduha u prethodnom periodu. Meteorološki parametri su stohastičke veličine, pa se statističkom obradom i izračunavanjem verovatnoće njihovog pojavljivanja dobijaju adekvatne vrednosti za korišćenje u tehnici. Smatra se da je 20 do 30 godina dovoljno reprezentativan niz za određivanje klimatskih faktora, jer eliminiše uticaj ekstremnih vrednosti i obuhvata ceo ciklus periodičnih prirodnih oscilacija meteoroloških parametara. Svi do sada primenjivani kriterijumi za određivanje spoljne projektne temperature mogu se, generalno, podeliti u 3 grupe.

1. Metode na bazi različitih kombinacija apsolutnog temperaturskog minimuma u nekom mestu i prosečnih temperatura vazduha dobijenih statističkom obradom godišnjih minimalnih temperatura i srednjih temperatura u najhladnijem mesecu. Hronološki gledano, ova grupa metoda obuhvata najstarije kriterijume za izbor t_{sp}. Tipičan primer za ovakav pristup određivanju spoljne projektne temperature je Čaplinova formula:

$$t_{sp} = 0,4 \cdot t_m + 0,6 \cdot t_{min} \qquad (6)$$

   Ovaj kriterijum je korišćen pri određivanju spoljnih projektnih temperatura za grejanje u Jugoslaviji [8].

2. Sa razvojem meteorološke službe i kompjuterske tehnike počelo je redovno praćenje i beleženje meteoroloških parametara iz sata u sat. Zajedničko za ovu grupu metoda za određivanje spoljne projektne temperature je da se vrši statistička obrada časovnih vrednosti temperature vazduha. Kao kriterijum se obično koristi procenat pojavljivanja časovne temperature vazduha ispod neke vrednosti temperature u određenom vremenskom periodu. Ta referentna vrednost se usvaja za t_{sp}. Ove metode su vrlo popularne u Americi [5].

3. Treća grupa metoda, osim statističke obrade spoljnih temperatura, uzima u obzir i dinamičko ponašanje zgrade u termičkom pogledu. Umesto izdvojenih časovnih temperatura, analiziraju se nizovi sa sukcesivnim vrednostima spoljne temperature (onako kako su se zaista pojavile u prirodi). Razlika između ovih metoda i prethodne grupe je u tome što se ovde polazi od pretpostavke da je potrebno određeno vreme (koje je za uobičajeni današnji način gradnje zgrada daleko duže od jednog sata) da se uticaj spoljne temperature, odnosno njene promene, odrazi na temperaturu u prostoriji. Kao kriterijumi se koriste dužina posmatranog intervala (obično dan-dva) i broj pojavljivanja srednje temperature u tom intervalu ispod neke vrednosti temperature u dužem periodu vremena (10 do 30 godina). Ovakva metoda je korišćena za odre-

divanje spoljnih projektnih temperatura za grejanje u Nemačkoj [4].

7. Korekcije transmisionih gubitaka toplote prostorije

Dugogodišnje inženjersko iskustvo u proračunu transmisionih gubitaka toplote zgrada za potrebe dimenzionisanja sistema za grejanje je ukazalo da pojedini elementi na realnim objektima znatno odstupaju od usvojenih pretpostavki pri uprošćenju fizičkog modela prenosa toplote u zgradi u cilju dobijanja jednostavnijeg matematičkog aparata za proračun toplotnih gubitaka. Razvoj merne tehnike omogućio je preciznije merenje stvarnih gubitaka toplote zgrade i konstatovano je da se izmereni gubici često znatno razlikuju od računskih. Odstupanje rezultata izračunatih prema jednačini (3) od stvarnih vrednosti, pokušava da se kompenzuje različitim korekcionim faktorima, tzv. dodacima [9]. Ovi korekcioni faktori uzimaju u obzir:

1. prekid u zagrevanju (potpun prekid ili smanjeno zagrevanje noću) ima za posledicu sniženje unutrašnje temperature ispod projektne. Dodatkom na prekid u zagrevanju, na neki način se uzimaju u obzir efekti nestacionarnosti prenosa toplote u zagrevanoj zgradi;
2. uticaj hladnih površina u zagrevanoj prostoriji na odavanje toplote čoveka zračenjem (asimetrično zračenje). Ovaj uticaj se delimično kompenzuje ili procentualnim povećanjem ukupnih transmisionih gubitaka toplote, ili povećanjem vrednosti koeficijenata prolaza toplote spoljašnjih građevinskih elemenata. Ovaj drugi način se sve češće koristi u novijim evropskim standardima za proračun potrebne količine toplote za grejanje [7];
3. uticaj stratifikacije – raslojavanja temperature vazduha u prostorijama veće visine (dodatak na visinu prostorije);
4. orijentaciju spoljašnjih zidova zbog uticaja sunčevog zračenja na spoljašnju površinu zida što prouzrokuje razlike u vlažnosti materijala zida (dodatak na stranu sveta);
5. uticaj sunčevog zračenja kroz ostakljene površine. Sunčevo zračenje (čak i samo difuzno) predstavlja izvor toplote za zagrevanu prostoriju, što vodi ka smanjenju potrebne količine toplote za grejanje;
6. mogućnost periodičnog prekida u zagrevanju susednih stanova. Ona se javlja kada korisnik, u cilju štednje energije odnosno troškova grejanja, privremeno isključi grejanje u svom stanu, odnosno u delu stana u periodu kada ga ne koristi;
7. akumulacionu sposobnost zgrade, pa se u skladu sa tom veličinom koriguje spoljna projektna temperatura [4]. U zgradama sa velikim toplotnim kapacitetom produžava se vreme posle koga se u prostoriji oseća uticaj promene spoljne temperature;
8. unutrašnji izvori dobitaka toplote (ljudi, osvetljenje, mašine) koji smanjuju potrebnu količinu toplote za grejanje.

Korišćenjem navedenih korekcionih faktora (jednog ili više njih) proširuje se oblast primene izraza (3), ali samo za proračun transmisionih gubitaka toplote zgrade pri projektnim uslovima (prenos toplote u stacionarnim uslovima).

Tačan proračun transmisionih gubitaka toplote pri različitim meteorološkim uslovima, koji je potreban za energetske proračune i upoređivanje efikasnosti pojedinih sistema za grejanje, mnogo je složeniji. Sunčevo zračenje koje dospeva na građevinski omotač prostorije (transparentne ili netransparentne površine) izaziva tipične nestacionarne termičke procese, za čije rešavanje se mora koristiti odgovarajući matematički aparat, daleko složeniji od običnih linearnih jednačina. Na nestacionarnost procesa utiču i nagle promene temperature spoljnjeg vazduha, kao i promene brzine i pravca vetra.

Zbog velikog broja parametara koji utiču na veličine toplotnih gubitaka, odnosno toplotnih dobitaka, kao i njihove interakcije, veoma je teško sačiniti opštu metodologiju proračuna koja će sa dovoljnom tačnošću i uz razumno računarsko vreme obuhvatiti sve moguće slučajeve. I najsloženiji današnji softveri za proračun časovnih vrednosti toplotnih gubitaka/dobitaka zgrade prilagođavaju se specifičnim zahtevima objekta uz određena nužna uprošćenja.

8. Zaključak

Precizno određivanje prenosa toplote u zagrevanom objektu zahteva vrlo složen proračun. U zavisnosti od namene korišćenja rezultata, odnosno potrebne tačnosti, vrše se različita uprošćenja proračuna gubitaka toplote zgrade [11].

Za proračun transmisionih toplotnih gubitaka zgrada za potrebe građevinske fizike (toplotna izolovanost zgrade) i tehnike grejanja (dimenzionisanje grejnih tela), koji se vrše za vrlo oštre zimske uslove, može se koristiti uprošćena metodologija proračuna, čije su teorijske osnove izložene u ovom radu. Tačnost ovakvog proračuna transmisionih gubitaka toplote prostorije odnosno zgrade u celini je zadovoljavajuća, imajući u vidu svrhu daljeg korišćenja tih rezultata.

U elaboratu građevinske fizike, za proračun transmisionih gubitaka toplote zgrade koristi se jednačina (3), uz korekciju koeficijenata prolaza toplote preko linijskih i tačkastih koeficijenata *k*. Gubici toplote se računaju samo prema spoljašnjoj sredini (zanemaruje se razmena toplote između susednih prostorija), iz čega proizilazi da je proračun gubitaka toplote orijentisan ka zgradi u celini [2].

U mašinskim projektima grejanja, proračun transmisionih gubitaka toplote se vrši za svaku pojedinačnu prostoriju. Dugogodišnja praksa u tehnici grejanja stanova je pokazala da se transmisioni gubici toplote prostorije, kao polazna osnova za dimenzionisanje grejnih tela, izračunati pomoću izraza (3), moraju korigovati korekcionih faktorima (tzv. dodacima), u cilju približavanja proračuna realnim uslovima gradnje i eksploatacije zgrade i termičkih instalacija u njoj.

Proračun gubitaka toplote zgrade je u većini zemalja standardizovan. Teško je reći koji je od svetski priznatih standarda za proračun potrebne količine toplote za grejanje najbolji. Svaki ima određene prednosti i nedostatke. Međutim, veoma je korisno da svaka zemlja (ili bar svaki veći grad) ima propisanu metodologiju proračuna toplotnih gubitaka.

Za energetske proračune i analize, za koje je potrebno izračunati toplotne gubitke/dobitke zgrade iz sata u sat za realne meteorološke i eksploatacione uslove, izlože-

na metodologija proračuna transmisionih gubitaka toplote zgrade se ne može koristiti. U ovom slučaju obavezno se razdvaja proračun prenosa toplote konvekcijom i zračenjem sa svake površine građevinskog elementa. U realnim uslovima eksploatacije ne samo da se menja intenzitet prenosa toplote nego i smer, pa se događa da neka površina prima toplotu konvekcijom a odaje zračenjem. Zbog relativno brze promene meteoroloških parametara, proces prenosa toplote u zgradi je nestacionaran. Koeficijenti prelaza toplote nisu konstantni, već se menjaju u zavisnosti od razlike temperature površine elementa i fluida, a sa spoljašnje strane zgrade i od brzine vetra. Pri proračunu trenutne potrebne količine toplote za grejanje uzimaju se u obzir i dobici toplote od spoljašnjih i unutrašnjih izvora [6]. Jedino se u svim do sada razvijenim programima za proračun toplotnih gubitaka/dobitaka zrade računa sa konstantnom temperaturom vazduha po celoj zapremini prostorije, mada se u poslednje vreme intenzivno radi na prevazilaženju i tog uprošćenja u matematičkom modelu prenosa toplote u zagrevanoj zgradi.

Korišćene oznake

A – površina elementa
a – temperaturska provodljivost
k – koeficijent prolaza toplote kroz građevinski element
M – konstanta
N – konstanta
t – temperatura u zidu
t_m – srednja minimalna temperatura najhladnijeg meseca
t_{min} – minimalna zabeležena temperatura na datoj lokaciji
t_0 – temperatura sa druge strane pregrade (spoljna projektna temperatura ili temperatura susedne prostorije)
t_v – temperatura vazduha
t_{rez} – rezultujuća temperatura
t_{sp} – spoljna projektna temperatura
t_u – unutrašnja projektna temperatura
t_u – srednja temperatura građevinskog omotača prostorije
x – pravac provođenja toplote
α – koeficijent prelaza toplote
δ – debljina sloja (zida)
λ – toplotna provodljivost materijala
τ – vreme

Literatura

[1] ***: JUS U.J5.510 Toplotna tehnika u građevinarstvu – Metode proračuna koeficijenata prolaza toplote u zgradama, 1987.
[2] ***: JUS U.J5.600 Toplotna tehnika u građevinarstvu – Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada, 1987.
[3] ***: JUS M.E6.010 Proračun potrebne količine toplote za grejanje (predlog), 1975.
[4] ***: DIN 4701 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, 1983.
[5] ***: *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, Atlanta, Georgia, U.S.A., 1997.
[6] ***: *DOE–2 Program manual*, Los Alamos Scientific Laboratory LA–7688 M i Lawrence Berkeley Laboratory LBL–8705, 1979.
[7] ***: *Heating Loads Calculation Standards*, Zbornik radova sa seminara REHVA-e, Hag, 1988.
[8] **Todorović, B.:** *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
[9] **Živković, B.:** *Uporedna analiza metoda proračuna potrebne količine toplote za grejanje*, časopis KGH 2/1990, str. 37–44.
[10] **Živković, B. i Z. Nikolić:** *Korelacija između unutrašnje projektne temperature i temperature vazduha u prostoriji*, časopis KGH, br. 3/1990.
[11] **Živković, B.:** *Nivoi detaljisanosti proračuna toplotnih gubitaka zgrade*, časopis KGH, br. 1/1999.

kgh

Branislav Živković, D. Sc.

THEORETICAL BASIS OF A BUILDING TRANSMISSION HEAT LOSSES CALCULATION

Summary

Transmission heat transfer through the building envelope is a complex physical phenomenon, consisted of the basic, interactive mechanisms of heat transfer: convection, conduction and heat radiation.

For the engineering purposes, it was necessary to simplify physical model of heat & mass transfer through the building envelope and to determine relations for approximated numerical solution. The basic foundations of transmission heat losses of a building were presented. The dominant parameters were analyzed.

Methodologies of space heat losses calculation were classified according to the „accuracy level". The choice of appropriate accuracy level depends on further use of calculated heat losses (calculation of building thermal insulation, heating system design, calculation of yearly energy demand for HVAC and comparison of different heating systems).