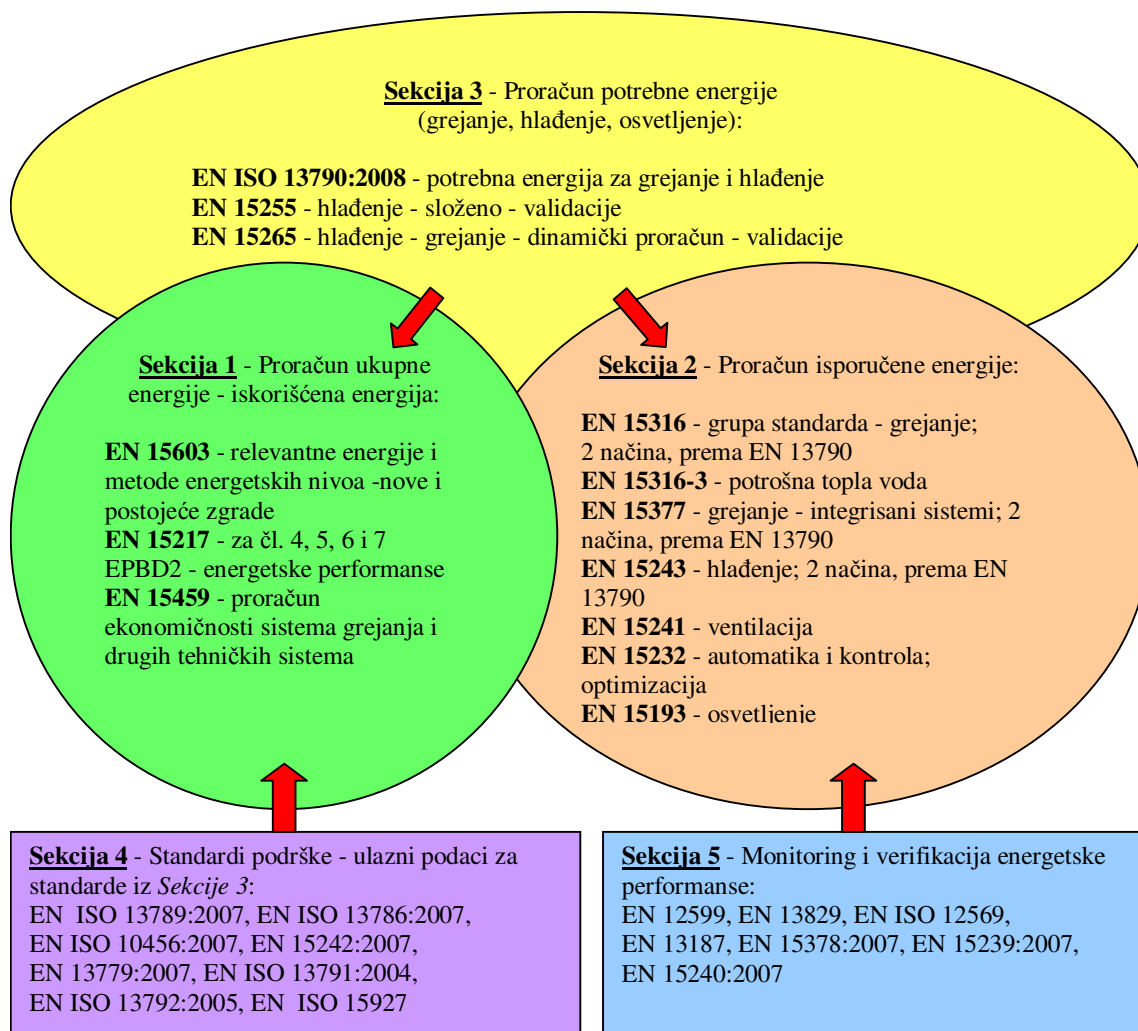


3. METODOLOGIJA PRORAČUNA POTREBNE ENERGIJE KOJA SE TROŠI U ZGRADI

3.1 METODOLOGIJA PRORAČUNA POTREBNE TOPLOTNE ENERGIJE

Donošenjem Pravilnika o energetskej efikasnosti zgrada i Pravilnika o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada (Sl. Glasnik RS, br. 61/2011 I 69/203), detaljnije se uređuje oblast postupka energetske sertifikacije zgrada.

Praktična primena Direktive o energetskim karakteristikama zgrada (EPBD) zahtevala je niz standarda koji bi pomogli u njenoj implementaciji. Na slici 3.1 prikazane su grupe standarda razvrstane u sekcije, a koji se odnose na metodologije proračuna koji su neophodni prilikom ocenjivanja energetskih karakteristika zgrada.



3.1 Pregled CEN standarda za EPBD, saglasno CEN/TR 15615¹ (Umbrella Document)

¹ http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/TR15615-CEN-BT-WG173-N68_Umbrella_document_V7_excl_Annex_D-.pdf

Standard EN ISO 13790 daje metodologiju proračuna potrebne energije za grejanje i hlađenje u zgradama i pokriva tri različita pristupa proračuna:

- potpuno definisani kvazi-stacionarni mesečni metod proračuna (posebna opcija je sezonski metod);
- potpuno definisani uprošćeni dinamički proračun baziran na časovnim vrednostima i
- metod proračuna koji podrazumeva detaljnu dinamičku simulaciju ponašanja zgrade u termičkom smislu.

Mesečni metod daje korektne vrednosti na godišnjem nivou, ali rezultati dobijeni za pojedine mesece, naročito u prelaznim periodima (proleće, jesen) mogu imati velika relativna odstupanja. Uprošćeni časovni metod je ponuđen kako bi se proračuni dopunili časovnim rasporedima u korišćenju prostora, uređaja, osvetljenja, sistema za grejanje i hlađenje, ventilaciju, senčenja zgrade, itd. Ovaj metod daje časovne vrednosti potrebne energije za grejanje i hlađenje, ali pojedine vrednosti dobijene ovom metodom mogu imati velika relativna odstupanja. Dinamička simulacija termičkog ponašanja zgrade je svakako najbolja opcija, ali je dobijanje korektnih rezultata usko povezano sa korektno unetim ulaznim podacima za proračun. Ulazni podaci za dinamičke simulacije su brojni, pa modeliranje svakog objekta ponaosob zahteva značajno vreme i stručnost u ovoj oblasti. Ukoliko se primenjuje časovni proračun ili dinamička simulacija, neophodno je imati ulazne podatke o spoljnoj klimi lokacije na kojoj se objekat nalazi u vidu tipične meteorološke godine (TMG), u kojoj se daju časovne vrednosti uticajnih parametara na razmenu toplote sa okolinom.

Direktiva se odnosi na nove objekte, kao i na postojeće koji se rekonstruišu, izdaju ili prodaju, sa posebnim osvrtom na zgrade javne namene. Data je podela zgrada prema nameni i definisano je 8 kategorija objekata:

1. Porodične kuće sa jednom stambenom jedinicom;
2. Stambene zgrade sa više stanova;
3. Administrativne i druge poslovne zgrade sa kancelarijskim prostorom,
4. Školske i fakultetske zgrade, vrtići i druge vaspitno-obrazovne ustanove,
5. Bolnice i ostale zgrade za zdravstvenu zaštitu,
6. Hoteli i slične zgrade ugostiteljske namene,
7. Sportski centri i dvorane,
8. Zgrade veleprodaje i maloprodaje i
9. Ostale vrste zgrada koje troše energiju radi ostvarivanja određenih uslova.

Definisanje energetske performansi podrazumeva, pre svega, definisanje potrebne energije za:

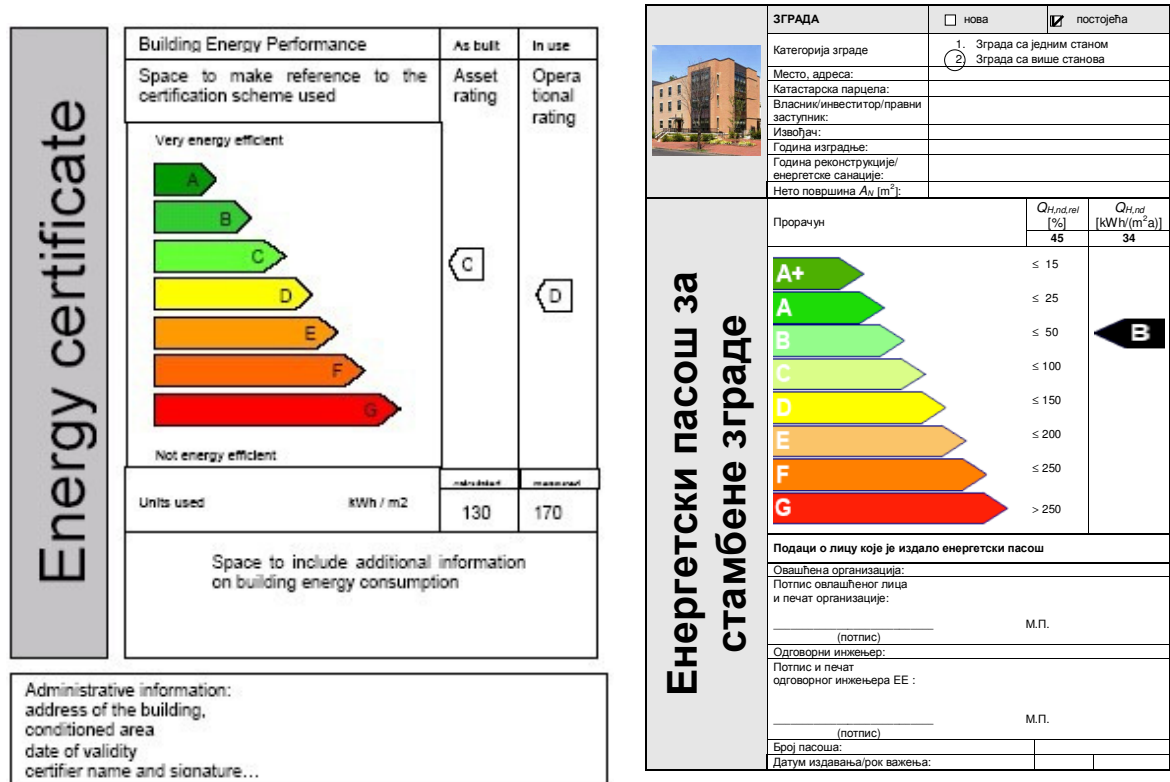
- grejanje,
- hlađenje,
- ventilaciju,
- pripremu potrošne tople vode i
- ovetljenje.

Nakon određivanja potreba objekta za energijom (na osnovu EN ISO 13790), pristupa se analizi elektro-mašinskih instalacija, odnosno tehničkih sistema koje obezbeđuju uslove komfora i ujedno predstavljaju potrošače energije (standardi iz sekcije 2). U zavisnosti od primenjenog sistema i nivoa automatske regulacije, računaju se gubici (u transformaciji energije, transportu...) svakog pojedinog sistema, kako bi se došlo do podatka o energiji koja treba da

bude isporučena iz odgovarajućeg izvora. Zbog različitosti izvora snabdevanja energijom, izračunava se godišnja potrebna primarna energija, preko odgovarajućeg faktora primarne energije (standardi iz sekcije1).

Standardi iz sekcije 4 predstavljaju standarde podrške sekciji 3, odnosno daju metodologiju proračuna pojedinih veličina koje čine ulazni podatak za proračune prema EN ISO13790, kao što je, npr, koeficijent transmisionih gubitaka ili dinamička toplotna karakteristika. Sekciju 5 čine standardi koji propisuju načine ispitivanja i verifikacije energetske performansi zgrada, kao što su: Ispitne procedure i metode merenja kod ventilacionih sistema (EN 3599), Određivanje vazdušne propustljivosti zgrada - Metod ventilatora - Diferencijalni pritisak (EN 13829), Određivanje izmene vazduha u zgradama - Metod gasnog traga (EN ISO3569), Kvalitativna detekcija termičkih iregularnosti u omotaču zgrade - Infracrveni metod (EN 15378), Pregledi bojlera i sistema grejanja (EN 3599) itd.

Način izražavanja energetske svojstava vrši se preko energetske sertifikata (pasoša), što preporučuju standardi EN 15217 i EN 15603, na način koji je prepoznatljiv i lako razumljiv. Izražavanje energetske svojstava se vrši preko određenih indikatora koji određuju energetski razred, ili su izraženi strelicom na skali u boji. Na slici 3.2 uporedo su prikazane prve strane energetske pasoša iz standarda EN 15217 i pasoša Republike Srbije.



3.2 Izgled prve strane energetske pasoša prema standardu (levo) i pasoša RS (desno)

Nacionalni energetski pasoš za stambene i nestambene zgrade se razlikuje, ali oba imaju pet strana na kojima se prikazuju sledeći podaci:

- Prva strana - opšti podaci i podatak o energetskom razredu;
- Druga strana - podaci o klimi, termotehničkim sistemima i elementima term. omotača;
- Treća strana - energetske potrebe, primarna energija i izmerena potrošnja energije;
- Četvrta strana - predlog mera za unapređenje EE zgrade i
- Peta strana - objašnjenje korišćenih tehničkih pojmova.

3.2 METODE PRORAČUNA GODIŠNJE POTREBNE TOPLOTE ZA GREJANJE

3.2.1 Metod stepen dana

Sam pojam STEPEN-DAN, koji je ključni element ove metode, predstavlja, na neki način, pokazatelj kretanja spoljne temperature vazduha u nekom mestu tokom perioda grejanja.

Ako sa q označimo potrebnu količinu toplote za grejanje pri jediničnoj temperaturskoj razlici (temperatura vazduha spolja i unutra), onda se može napisati:

$$q = \frac{Q_{GUB}}{\theta_u - \theta_{s_p}} \text{ [W/K]}, \quad (3.1)$$

onda je potrebna količina toplote za grejanje po danima:

$$\begin{aligned} Q_1 &= q \cdot (\theta_u - \theta_{s1}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \\ Q_2 &= q \cdot (\theta_u - \theta_{s2}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \\ Q_3 &= q \cdot (\theta_u - \theta_{s3}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \\ &\dots \\ Q_n &= q \cdot (\theta_u - \theta_{sn}) \cdot 24 \text{ [Wh/dan]} \end{aligned} \quad (3.2)$$

pa je energija potrebna za ceo grejni period, odnosno celu grejnu sezonu:

$$Q_g = \sum_{n=1}^{HD} Q_n = 24 \cdot q \cdot \sum_{n=1}^{HD} (\theta_u - \theta_{sn}) \text{ [Wh/god]}, \quad (3.3)$$

gde je HD – broj dana u grejnoj sezoni (engl. *Heating Days*).

Broj STEPEN-DANA (engl. *Heating Degree Days*) je:

$$HDD = \sum_{n=1}^Z (\theta_u - \theta_{sn}), \quad (3.4)$$

pa izraz (3.3) ima oblik:

$$Q_g = \sum_{n=1}^Z Q_n = 24 \cdot q \cdot HDD \text{ [Wh/god]}, \quad (3.5)$$

Ako se uvede pojam **srednje temperature grejnog perioda** θ_g , onda se broj stepen-dana može napisati u obliku:

$$HDD = HD \cdot (\theta_u - \theta_g), \quad (3.6)$$

Ako se dodatno usvoji (što je odgovara realnim uslovima i zadatku sistema za grejanje) da je temperatura vazduha u prostoriji – unutrašnja temperatura – konstantna vrednosti, onda se može napisati:

$$HDD = HD \cdot \theta_u - \sum_{n=1}^{HD} \theta_{sn}, \quad (3.7)$$

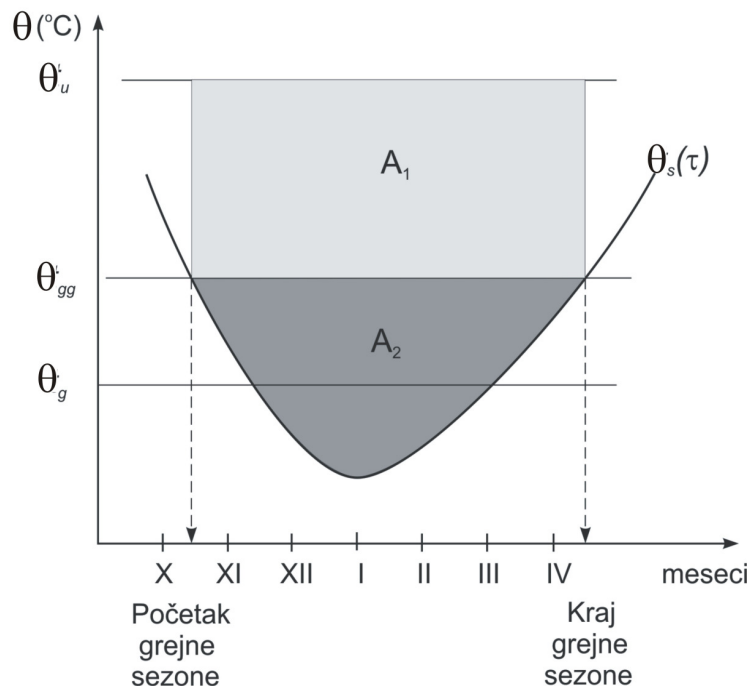
Ovde se uvodi još jedan pojam: **temperatura granice grejanje** θ_{gg} , što predstavlja temperaturu spoljnog vazduha pri kojoj počinje i pri kojoj se završava grejna sezona. Ako se ima u vidu da je grejna sezona ograničena temperaturom granice grejanja, onda se može napisati izraz za broj stepen dana u sledećem obliku:

$$HDD = HD \cdot (\theta_u - \theta_{gg}) + \sum_{n=1}^{HD} (\theta_{gg} - \theta_{sn}), \quad (3.8)$$

Izraz (3.8) se koristi za praktično izračunavanje broja HDD, što je grafički prikazano na slici 3.3.

Kada se računa broj stepen-dana, polazi se od sledećih pretpostavki:

- srednja unutrašnja temperatura vazduha u prostorijama iznosi $\theta_u = 19^\circ\text{C}$ (u većini prostorija je unutrašnja temperatura 20°C , ali tu su i sporedne prostorije, čija je temperatura vazduha niža, pa se za prosečnu vrednost usvaja 19°C);
- temperatura granice grejanje iznosi $\theta_{gg} = 3^\circ\text{C}$.



Slika 3.3 Grafički prikaz broja stepen-dana

Ono što se razlikuje od mesta do mesta jeste:

- tok spoljne temperature vazduha $\theta_s = \theta_s(\tau)$,
- srednja temperatura grejnog perioda θ_g i
- dužina trajanja grejne sezone, odnosno broj dana u grejnoj sezoni HD .

Proračun godišnje potrošnje energije za grejanje metodom broja stepen-dana određuje se na sledeći način:

$$Q_g = \frac{24 \cdot Q_{GUB} \cdot HDD}{\theta_u - \theta_{sp}} \cdot y \cdot e \quad [\text{Wh/god}], \quad (3.9)$$

gde su:

- y – korekcionni faktor jednovremenosti, koji uzima u obzir činjenicu da se svi nepovoljni uticaji (velika brzina vetra, visoka oblačnost...) ne javljaju istovremeno, a pri proračunu gubitaka toplote su uzeti u obzir (Tabela 3.2),
- e – korekcionni faktor koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (smatra se da u toku 24 časa dolazi do prekida u zagrevanju tokom noći od oko 8 časova), tako da postoji njegov uticaj na smanjenje potrošnje energije:

$$e = e_i \cdot e_b, \quad (3.10)$$

gde je:

e_t – faktor **temperaturskog ograničenja** (Tabela 3.3), koji uzima u obzir ograničeno zagrevanje tokom noći kada se ne troši gorivo za grejanje. Noćni prekid u zagrevanju utiče na sniženje unutrašnje temperature u odnosu na projektnu vrednost i izražava se na sledeći način:

$$e_t = \frac{\theta_{um} - \theta_g}{\theta_u - \theta_g}, \quad (3.11)$$

gde je:

θ_{um} – snižena unutrašnja temperatura tokom noći.

Međutim, računski je jako teško odrediti t_{um} , jer ona zavisi od više uticajnih faktora, tako da se faktor e_t određuje empirijski i usvaja se u zavisnosti od namene zgrade, odnosno dnevnog korišćenja postrojenja za grejanje u zgradi;

e_b – faktor **eksploatacionog ograničenja**, koji uzima u obzir prekid u zagrevanju (ili ograničeno zagrevanje) tokom vikenda, praznika, raspusta ili kolektivnog odmora, i sl.

Broj stepen-dana HDD, broj dana HD i srednja temperatura θ_g za gradove u Srbiji prikazani su u tabeli 3.1. Koeficijenti jednovremenosti, temperaturskog i eksploatacionog ograničenja dati su u tabelama od 3.2 do 3.4.

Tabela 3.1 Broj stepen-dana HDD, broj dana HD i srednja temperatura θ_g za gradove u Srbiji

MECTO	HDD	HD	θ_g	MESTO	HDD	HD	θ_g
Aleksinac	2517	176	5,7	Leskovac	2625	181	5,5
Beograd	2520	175	5,6	Požarevac	2588	181	5,7
Bečej	2797	184	4,8	Negotin	2818	183	4,6
Bor	3100	200	4,5	Niš	2613	179	5,4
Valjevo	2784	192	5,5	Novi Sad	2679	181	5,2
Vranje	2675	182	5,3	Pančevo	273	182	5,1
Vršac	2556	180	5,8	Pirot	2610	180	5,5
Gornji Milanovac	3078	208	5,2	Prokuplje	2604	186	6
Divčibare	3839	243	4,2	Senta	2824	187	4,9
Zaječar	2880	192	5	Smederevo	2610	180	5,5
Zlatibor	3728	239	4,4	Sombor	2850	190	5
Zrenjanin	2748	182	4,9	Sremski Karlovci	2496	177	5,9
Jagodina	2599	178	5,4	Sremska Mitrovica	2738	185	5,2
Kikinda	2763	183	4,9	Užice	3015	201	5
Kopaonik	5349	311	2,8	Čačak	2755	190	5,5
Kragujevac	2610	180	5,5	Čuprija	2380	163	5,4
Kraljevo	2628	180	5,4	Šabac	2588	181	5,7
Kruševac	2654	183	5,5	Šid	2686	184	5,4

Tabela 3.2 Koeficijent jednovremenosti

Koeficijent y	vrednost
normalno vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,63
normalno vetroviti predeli i otvoren položaj	0,60
vetroviti predeli i zaklonjen položaj	0,58
vetroviti predeli i otvoren položaj	0,55

Tabela 3.3 Koeficijent temperaturskog ograničenja e_t

Vrsta zgrade	e_t
Bolnice i zgrade slične namene	1,00
Stambene zgrade sa grejanjem svih prostorija	0,95
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju, administrativne zgrade, trgovine i drugi slični objekti velikih akumulacionih sposobnosti u područjima umerene klime	0,90
Administrativne zgrade sa manjom akumulacionom sposobnosti u području oštre klime	0,85
Škole sa jednom smenom nastave i velikom akumulacionom sposobnošću	0,80
Škole sa jednom smenom nastave i malom akumulacionom sposobnošću	0,75

Tabela 3.4 Koeficijent eksploatacionog ograničenja e_b

Vrsta zgrade	e_b
Stalno grejani objekti (stambene zgrade, bolnice)	1,00
Stambene zgrade sa noćnim ograničenjem u zagrevanju subotom, nedeljom i praznicima (kancelarije, administrativne zgrade, banke, trgovine i sli.)	0,90
Škole	0,75

3.2.2 Proračun metodom potpuno definisanog mesečnog modela

Godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,nd}$ se prema SRPS EN ISO 13790:2008, za sisteme koji rade bez prekida u zagrevanju, računa po sledećoj formuli:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/a}] \quad (3.12)$$

gde su:

$Q_{H,ht}$ - Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote [kWh/a]

$\eta_{H,gn}$ - Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja

$Q_{H,gn}$ - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja [kWh/a]

Specifična godišnja potrebna toplota za grejanje, $Q_{H,an}$ predstavlja količnik godišnje potrebne toplote za grejanje i korisne površine zgrade:

$$Q_{H,an} = \frac{Q_{H,nd}}{A_f} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})] \quad (3.13)$$

gde je:

A_f – korisna površina grejanog dela zgrade [m^2]

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote obuhvata toplotu koja je potrebna za nadoknadu transmisionih Q_T i ventilacionih gubitaka toplote Q_v :

$$Q_{H,ht} = Q_T + Q_v \text{ [kWh/a]} \quad (3.14)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh/a]} \quad (3.15)$$

gde su:

Q_{int} - Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote [kWh/a]

Q_{sol} - Godišnja količina toplote koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja [kWh/a]

pa se godišnja potrebna toplota za grejanje može izraziti na sledeći način:

$$Q_{H,nd} = (Q_T + Q_v) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \text{ [kWh/a]} \quad (3.16)$$

Godišnja potrebna toplota za nadoknadu gubitaka toplote računa se po formuli:

$$Q_{H,ht} = (H_T + H_V) \cdot 24 \cdot HDD \cdot 10^{-3} \text{ [kWh/a]} \quad (3.17)$$

gde su:

H_T - Koeficijent transmisionog gubitka toplote [W/K]

H_V - Koeficijent ventilacionog gubitka toplote [W/K]

HDD - broj stepen dana za lokaciju zgrade (HDD - *Heating Degree Days* - Tabela 3.1)

Koeficijent transmisionog gubitka toplote:

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \text{ [W/K]} \quad (3.18)$$

gde su:

H_D – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhom;

H_g – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa tлом;

H_U – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa negrejanim prostorom;

H_A – Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa susednom zgradom.

Koeficijent transmisionog gubitka toplote za površine u dodiru sa spoljnim vazduhom računa se prema Proračunu transmisionih gubitaka usled toplotnih mostova prema SRPS ISO 10211:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \text{ [W/K]} \quad (3.19)$$

gde su:

A_i [m²] - površina i-tog elementa omotača zgrade

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i-tog elementa omotača zgrade

l_k [m] - dužina k-tog linijskog toplotnog mosta

ψ_k [W/m·K] - linijski koeficijent prolaza toplote k-tog linijskog toplotnog mosta

χ_j [W/K] - tačkasti koeficijent prolaza toplote j-tog tačkastog toplotnog mosta

Za proračun se može koristiti i uprošćeni metod uticaja toplotnih mostova. U tom slučaju koeficijent transmisionog gubitka toplote zgrade (ili dela zgrade), H_T [W/K], izračunava se po obrascu:

$$H_T = \sum_i (F_{xi} \cdot U_i \cdot A_i) + H_{TB} \quad (3.20)$$

gde su:

F_{xi} - faktor korekcije temperature za i -ti građevinski element, koji se usvaja prema Tabeli 3.5;

U_i [W/(m²·K)] - koeficijent prolaza toplote i -tog građevinskog elementa, površine A_i [m²].

Tabela 3.5 – Otpori prelazu toplote i korekcija temperature

Toplotni protok ka spoljnoj sredini, preko građevinskog elementa određenog tipa	Otpor prelazu toplote, u m ² ·K/W			Faktor korekcije temperature, F_{xi}
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	
<i>Građevinski elementi koji se graniče sa spoljnim vazduhom</i>				
Spoljni zid				
neventilisan	0,13	0,04	0,17	1,0
ventilisan	0,13	0,13	0,26	1,0
Ravni krovovi:				
neventilisano	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisano	0,10	0,10	0,20	1,0
Međuspratna konstrukcija iznad otvorenog prolaza:				
neventilisano	0,17	0,04	0,21	1,0
ventilisano	0,17	0,17	0,34	1,0
Kosi krovovi:				
neventilisani	0,10	0,04	0,14	1,0
ventilisani	0,10	0,10	0,20	1,0
Toplotni protok ka spoljnoj sredini, preko građevinskog elementa određenog tipa	Otpor prelazu toplote, u m ² ·K/W			Faktor korekcije temperature, F_{xi}
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	
<i>Građevinski elementi koji se graniče sa negrejanim prostorima</i>				
Zid ka negrejanom prostoru	0,13	0,13	0,26	0,5
Međuspratna konstrukcija ka negrejanom krovnom prostoru	0,10	0,10	0,20	0,8
Međuspratna konstrukcija iznad negrejanog prostora	0,17	0,17	0,34	0,5
Zid ka negrejanom zimskoj bašti (stakleniku), sa spoljnim zastakljenjem zimske bašte:	0,13	0,13	0,26	
Jednostruko staklo, $U > 2,5$ W/(m ² ·K)				0,7
Izolaciono staklo, $U \leq 2,5$ W/(m ² ·K)				0,6
Poboljšano staklo, $U \leq 1,6$ W/(m ² ·K)				0,5
<i>Građevinski elementi u kontaktu sa tlom</i>				
Zid u tlu, ili delimično ukopan	0,13	0,0	0,13	0,6
Pod na tlu	0,17	0,0	0,17	0,5
Međuspratna konstrukcija u tlu	0,10	0,0	0,10	0,6
<i>Građevinski elementi između dva grejana prostora različite temperature</i>				
Zid između zgrada, zid koji razdvaja prostore različitih korisnika, ili zid ka grejanom stepeništu	0,13	0,08	0,21	0,8
Međuspratna konstrukcija koja razdvaja prostor između različitih korisnika	0,10	0,08	0,18	0,8

Transmisioni toplotni gubitak zgrade (ili dela zgrade) usled uticaja toplotnih mostova u termičkom omotaču zgrade (ili dela zgrade), H_{TB} [W/K], iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A \quad (3.21)$$

gde je A [m^2] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (termički omotač objekta – spoljne mere).

Usvaja se vrednost $\Delta U_{TB} = 0,10$ W/($m^2 \cdot K$).

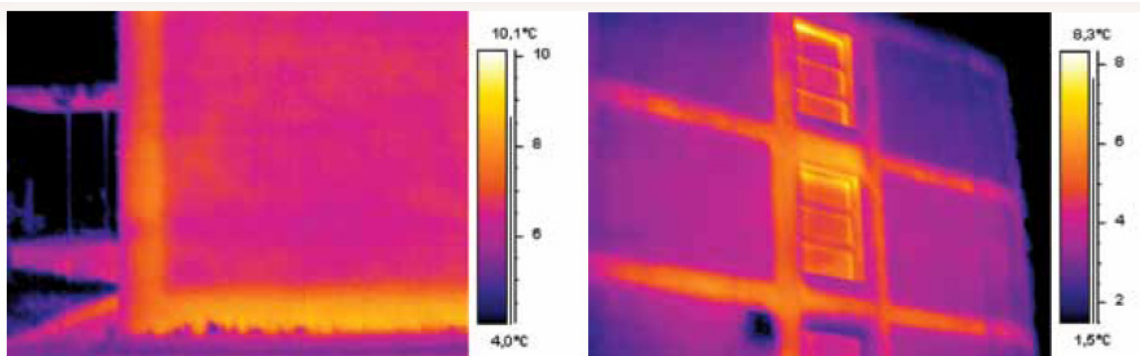
Ukoliko je uticaj toplotnih mostova već uzet u obzir pri proračunu koeficijenta prolaza toplote U , građevinskog elementa, granična površina kroz koju se toplota prenosi A , kod uvažavanja uticaja toplotnog mosta može se umanjiti za površinu građevinskog elementa za koji je koeficijent prolaza toplote na taj način određen. Transmisioni toplotni gubitak usled uticaja toplotnog mosta, H_{TB} [W/K], tada iznosi:

$$H_{TB} = \Delta U_{TB} \cdot A_{cor} \quad (3.22)$$

gde je A_{cor} [m^2] zbirna površina spoljnih građevinskih elemenata (spoljni omotač objekta), umanjena za površine građevinskih elemenata za koje su izračunati koeficijenti prolaza toplote sa uključenim toplotnim mostovima.

Toplotni mostovi

Toplotni most je mesto smanjenog otpora prolazu toplote u odnosu na konstrukciju u kojoj se nalazi, odnosno mesto u termičkom omotaču na kome se javlja povećani toplotni fluks. Pojava toplotnih mostova može značajno uticati na povećanje transmisionih gubitaka toplote zgrade.

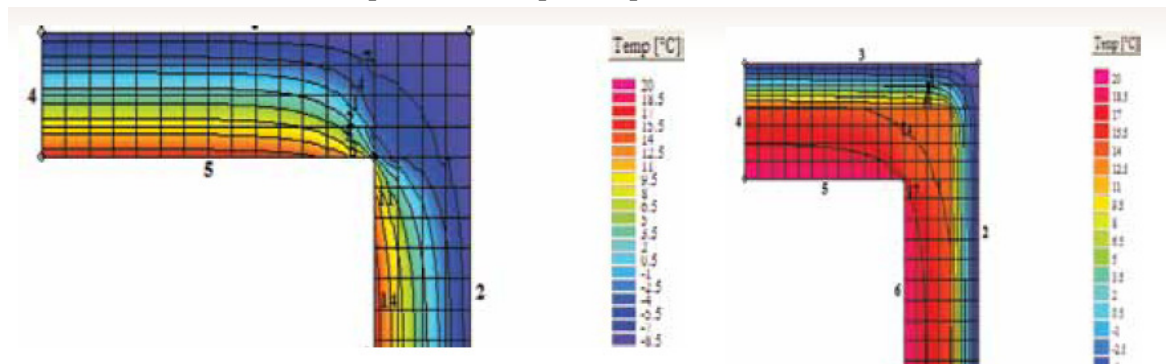


Slika 3.5 Prikaz termovizijskog snimka fasade na kome se uočava toplotni most

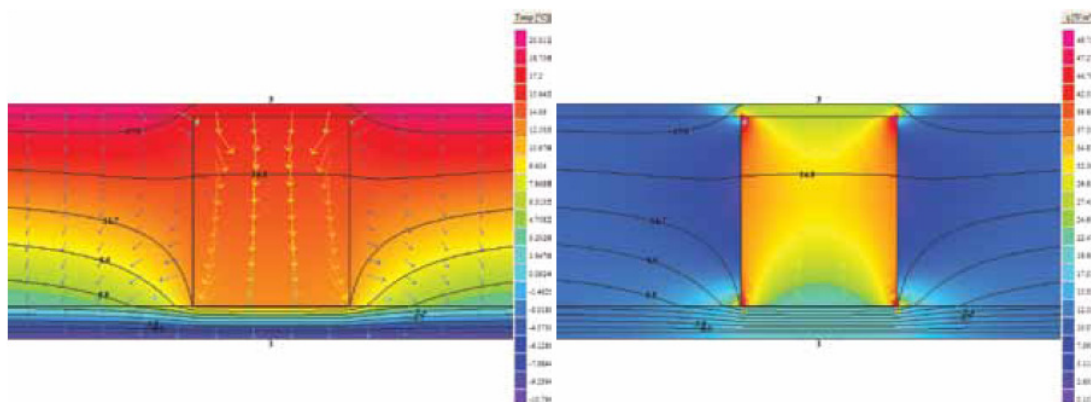
U zavisnosti od toga šta prouzrokuje pojavu toplotnog mosta, razlikujemo:

- konstruktivni toplotni most (promena vrste materijala u konstrukciji, kao na sl.3.5)
- geometrijski toplotni most (promena oblika konstrukcije, na primer uglovi, žljebovi, ispupčenja...)

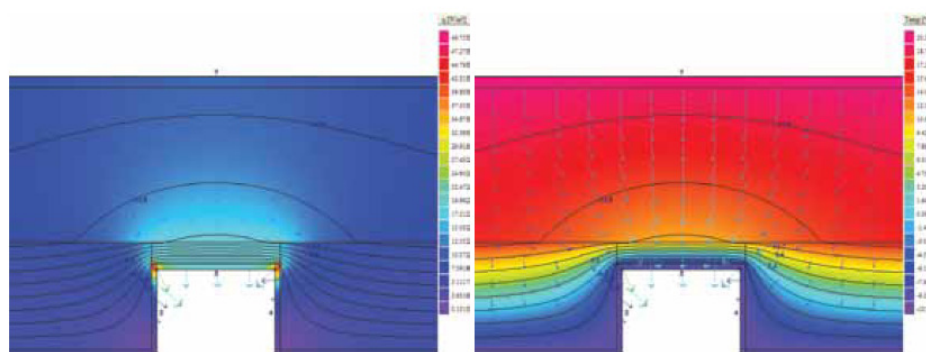
Na slikama 3.6 do 3.9 prikazani su tipični toplotni mostovi.



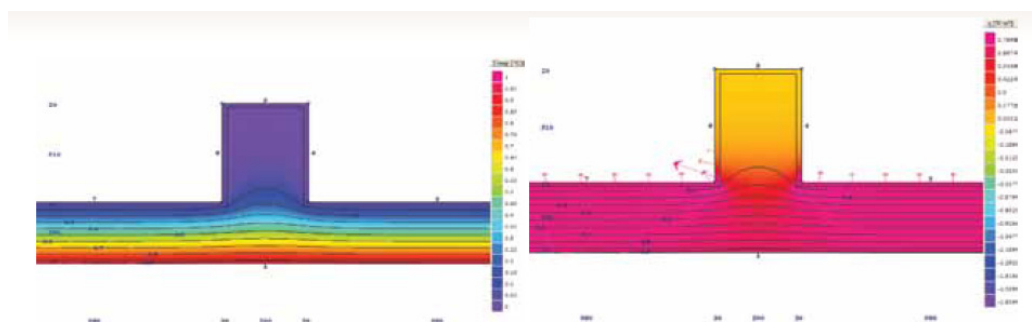
Slika 3.6 Geometrijski toplotni most na uglu kada nema toplotne izolacije (levo) i saniran toplotni most ugradnjom izolacije sa spoljne strane (desno)



Slika 3.7 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom materijala



Slika 3.8 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom debljine konstrukcije (pojava žljeba na fasadi)



Slika 3.9 Temperatura (levo) i toplotni fluks (desno) u preseku toplotnog mosta prouzrokovanog promenom geometrije konstrukcije (kod ispupčenja na fasadi)

Toplotni mostovi prouzrokuju povećane gubitke toplote, pojavu kondenzacije na unutrašnjoj površini spoljnog zida, kao i unutar same konstrukcije. Posledice koje se javljaju zbog pojave toplotnih mostova su: oštećenja konstrukcije usled pojave vlage i buđi, mehanička oštećenja materijala zida i toplotne izolacije usled pojave smrzavanja kondenzata, narušavanje mehaničke stabilnosti konstrukcije.

Proračun toplotnih mostova moguće je izvršiti na nekoliko načina:

- paušalnim dodatkom na koeficijent transmissionog gubitka toplote;
- pojednostavljenim metodama prema SRPS EN ISO 14683:2008 (katalog)
- detaljnim proračunom prema SRPS EN ISO 10211:2008.

Specifični transmisioni gubitak toplote:

Srednja vrednost koeficijenta prolaza toplote za zgradu:

$$H_T' = \frac{H_T}{A_f} \text{ [W/(m}^2\text{K)]} \quad (3.23)$$

gde su:

 H_T - Koeficijent transmisionog gubitka toplote [W/K] A_f - površina termičkog omotača zgrade [m²]**Koeficijent ventilacionog gubitka toplote:**

$$H_V = \rho_a \cdot c_p \cdot \sum_i V_i \cdot n_i \text{ [W/K]} \quad (3.24)$$

gde su:

 V - zapremina grejanog prostora [m³] n - broj izmena vazduha na čas [h⁻¹]

$$\rho_a \cdot c_p = 1200 \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3 \text{K}} \right]$$

 ρ_a - gustina vazduha [kg/m³] c_p - specifični toplotni kapacitet vazduha pri konstantnom pritisku [J/kgK]

Broj izmena vazduha na čas se određuje u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) prema tabelama 3.6 i 3.7.

Tabela 3.6 – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Stambene zgrade sa više stanova i prirodnom ventilacijom

Izloženost fasade vetru	Broj izmena vazduha n [h ⁻¹]			Broj izmena vazduha n [h ⁻¹]		
	Više od jedne fasade			Samo jedna fasada		
Zaptivenost	Loša	Srednja	Dobra	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Umereno zaklonjen položaj	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabela 3.7 – Broj izmena vazduha na čas u zavisnosti od zaklonjenosti i klase zaptivenosti zgrade (prema SRPS EN ISO 13789) – Pojedinačne porodične kuće sa prirodnom ventilacijom

Zaptivenost	Broj izmena vazduha n [h ⁻¹]		
	Loša	Srednja	Dobra
Otvoren položaj zgrade	1,5	0,8	0,5
Umereno zaklonjen položaj	1,1	0,6	0,5
Veoma zaklonjen položaj	0,76	0,5	0,5

Faktor iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja računa se pomoću sledeće formule:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{(a_H+1)}} \quad (3.25)$$

gde su:

γ_H - bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa

a_H - bezdimenzioni numerički parametar koji zavisi od vrednosti vremenske konstante

Bezdimenzioni odnos toplotnog bilansa predstavlja odnos godišnje količine toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja i godišnje potrebne toplote za nadoknadu gubitaka toplote:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (3.26)$$

Bezdimenzioni numerički parametar a_H zavisi od vrednosti vremenske konstante τ i računa se prema formuli:

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (3.27)$$

gde je:

τ - vremenska konstanta [h]

i računa se kao odnos dinamičkog toplotnog kapaciteta i zbira koeficijenata transmisionih i ventilacionih gubitaka toplote:

$$\tau = \frac{C_m / 3600}{H_T + H_V} \quad (3.28)$$

C_m - dinamički toplotni kapacitet [J/K]

Prosečne vrednosti faktora iskorišćenja dobitaka toplote za period grejanja (za sezonski ili mesečni metod) se usvajaju prema tipu gradnje, prema sledećim preporukama:

$\eta_{H,gn} = 1,00$ - Teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,98$ - Srednje-teški tip gradnje;

$\eta_{H,gn} = 0,90$ - Laki tip gradnje.

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote i dobitaka usled sunčevog zračenja:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \text{ [kWh/a]} \quad (3.29)$$

Godišnja količina toplote koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote predstavlja zbir dobitaka toplote od ljudi i električnih uređaja (Tabela 3.9) i računa se prema:

$$Q_{int} = A_f \cdot (q_P + q_E) \text{ [kWh/a]} \quad (3.30)$$

gde su:

A_f – korisna površina zgrade [m^2],

q_P - dobici toplote od ljudi,

q_E - dobici toplote od električnih uređaja.

Tabela 3.8 Srednje mesečne temperature vazduha, srednje mesečne sume zračenja i broj stepen dana za svaki mesec grejne sezone

Mesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Zima	
Средња месечна температура (°C)	0,9	3,0	7,3	12,5	17,6	20,6	22,3	22,0	17,7	12,7	7,2	2,6	5,6	
Сунчево зрачење	ХОР (kWh/m ²)	42,75	60,35	103,86	133,65	170,43	181,23	192,83	170,43	127,58	88,94	45,50	33,87	398
	J (kWh/m ²)	64,25	76,98	96,43	86,73	86,28	81,43	90,31	99,43	107,38	109,22	66,52	52,80	455
	И, З (kWh/m ²)	32,57	55,35	79,80	96,05	112,90	116,78	125,22	114,37	91,32	67,21	34,67	25,53	310
	С (kWh/m ²)	17,42	22,38	36,04	44,64	55,69	56,88	58,27	52,83	38,78	29,16	17,93	14,31	145
HDD = 2520	585	458	370	102	0	0	0	0	0	101	373	531		

Godišnja količina toplote koja potiče od dobitaka usled Sunčevog zračenja:

$$Q_{sol} = F_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} \cdot \tau_{sol} \text{ [kWh/a]} \quad (3.31)$$

gde su:

F_{sh} - faktor osenčenosti zgrade (iz Tabela 3.10, 3.11 i 3.3):

$$F_{sh} = F_{hor} \cdot F_{ov} \cdot F_{fin} \quad (3.32)$$

gde su F_{hor} , F_{ov} , F_{fin} korekcionni faktori za 45° SGŠ.

Za staklene spoljne površine:

$$A_{sol,gl} = g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_W, \quad (2.33)$$

gde su:

g_{gl} - faktor propustljivosti Sunčevog zračenja u zavisnosti od vrste stakla (Tabela 3.13);

F_F - faktor rama;

A_W - površina prozora (građevinskog otvora)

Za spoljne zidove:

$$A_{sol,C} = \alpha_{s,C} \cdot R_{s,C} \cdot U_C \cdot A_C \quad (3.34)$$

gde su:

$\alpha_{s,C}$ - emisivnost spoljne površine zida (kratkotalasno zračenje Sunca);

$\alpha_{s,C} = 0,6$ - vrednost za svetlije boje fasade i mermer

$R_{s,C} = \frac{1}{h_e}$ - otpor prelazu toplote za spoljnu stranu zida [m²K / W]

Srednja vrednost otpora prelazu toplote za spoljnu stranu zida: $R_{s,C} = \frac{1}{25}$ [m²·K / W]

$I_{sol} \cdot \tau_{sol}$ [kWh/m²] - vrednosti date u tabeli 3.8.

Tabela 3.9 – Dobici toplote od ljudi i električnih uređaja (prema SRPS EN ISO 13790)

Tip zgrade	1	2	3	4	5	6	7	8	9) Ostale zgrade				Jedini- nica
Ulazni podaci	Stambena zgrada sa jednim stanom	Stambena zgrada sa više stanova	Poslovna zgrada	Zgrade namenjene obrazovanju	Bolnice	Restorani	Trgovinski centri	Sportski centri	Sale za sastanke i prezentacije	Industrijske zgrade	Skladišta	Unutrašnji bazeni	
Unutrašnja projektna temperatura za zimski period	20	20	20	20	22	20	20	18	20	18	18	28	°C
Unutrašnja projektna temperatura za letnji period	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28	°C
Površina po osobi (zauzetost)	60	40	20	10	30	5	10	20	5	20	100	20	m ² /per
Odavanje toplote po osobi	70	70	80	70	80	100	90	100	80	100	100	60	W/per
Odavanje toplote ljudi po jedinici površine	1,2	1,8	4,0	7,0	2,7	20	9,0	5,0	16	5,0	1,0	3,0	W/m ²
Prisutnost tokom dana (prosečno mesečno)	3	3	6	4	16	3	4	6	3	6	6	4	h
Godišnja potrošnja električne energije po jedinici površine grejanog prostora	20	30	20	10	30	30	30	10	20	20	6	60	kWh/m ²
Protok svežeg vazduha po jedinici površine grejanog prostora	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,2	0,7	0,7	1,0	0,7	0,3	0,7	m ³ /(h·m ²)
Protok svežeg vazduha po osobi (obrok po osobi)	42	28	14	7	30	6	7	14	5	14	30	14	m ³ /(h·per)
Toplota potrebna za pripremu STV po jedinici površine grejanog prostora	10	20	10	10	30	60	10	80	10	10	1,4	80	kWh/m ²

Tabela 3.10 - Faktor osenčenosti zgrade usled okolnih objekata

Korekcionni faktor F_{hor} za 45° SGŠ			
Ugao [°]	J	I,Z	S
0	1,00	1,00	1,00
10	0,97	0,95	1,00
20	0,85	0,82	0,98
30	0,62	0,70	0,94
40	0,46	0,61	0,90

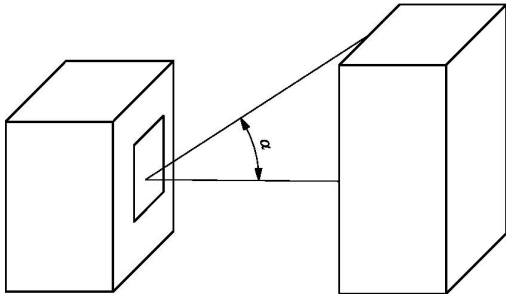


Tabela 3.11 - Faktor osenčenosti zgrade usled nastrešica

Korekcionni faktor F_{ov} za 45° SGŠ			
Ugao [°]	J	I,Z	S
0	1,00	1,00	1,00
30	0,90	0,89	0,91
45	0,74	0,76	0,80
60	0,50	0,58	0,66

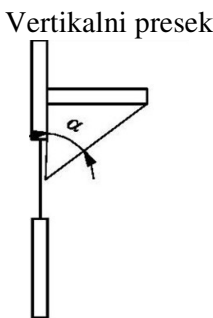


Tabela 3.3 - Faktor osenčenosti zgrade usled vertikalnih ispusta na fasadi

Korekcionni faktor F_{fin} za 45° SGŠ			
Ugao [°]	J	I,Z	S
0	1,00	1,00	1,00
30	0,94	0,92	1,00
45	0,84	0,84	1,00
60	0,72	0,75	1,00

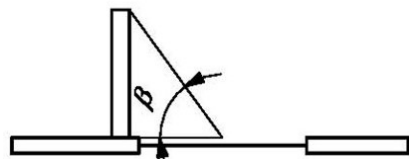


Tabela 3.13 – Toplotna svojstva transparentnih građevinskih elemenata - STAKLO

Tip stakla	U_g W/(m ² ·K)	g
jednostruko, 6 mm	5,8	0,83
2-struko, prozirno, 6-8-6 mm	3,2	0,71
2-struko, prozirno, 4-3-4 mm	3,0	0,71
2-struko, prozirno, 6-3-6 mm	2,9	0,71
2-struko, prozirno, 6-16-6 mm	2,7	0,72
3-struko, prozirno, 6-3-6-3-6 mm	1,9	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (vazduh)	1,6	0,63
2-struko, niskoemisiono, 4-16-4 mm (vazduh)	1,5	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-15-4 mm (Ar)	1,3	0,61
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (Kr)	1,1	0,62
2-struko, niskoemisiono, 4-3-4 mm (Xe)	0,9	0,62
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	0,7	0,48
3-struko, niskoemisiono, 4-8-4-8-4 mm (Xe)	0,5	0,48
2-struko, reflektujuće, 6-15-6 mm (Ar)	1,3	0,25 – 0,48
2-struko, reflektujuće, 6-3-4 mm (Ar)	1,4	0,27 – 0,44

Vrednosti koeficijenta prolaza toplote prozora bez termoizolacionog stakla („staklopaketi“) usvajaju se sa vrednostima: $U_w = 3,5$ W/(m²·K) (za prozore krilo na krilo); $U_w = 5,0$ W/(m²·K) (za prozore sa jednostrukim staklom).

Koeficijent prolaza toplote transparentnog građevinskog elementa (spoljna građevinska stolarija: spoljni prozori i balkonska vrata; krovni prozori), U_w [W/(m²·K)], određuje se proračunom, saglasno standardu SRPS EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f} \quad (3.35)$$

Vrednosti koeficijenta prolaza toplote za okvire prozora date su tabelama 3.14 do 3.16, a faktor korekcije za toplotne mostove između stakla i okvira je dat u tabeli 3.17.

Tabela 3.14 – Koeficijent prolaza toplote okvira – drveni okvir

debljina d_f mm	U_f W/(m ² ·K)	
	meko drvo (500 kg/m ³), $\lambda = 0,13$ W/(m·K)	tvrd drvo (700 kg/m ³), $\lambda = 0,18$ W/(m·K)
30	2,3	2,7
50	2,0	2,4
70	1,8	2,0
90	1,6	1,8
110	1,4	1,6

Tabela 3.15 – Koeficijent prolaza toplote okvira – PVC-okvir

Materijal	Tip okvira - profil	U_f W/(m ² ·K)
PVC-šuplji profili	2-komorni	2,2
	3-komorni	1,7 - 1,8
	5-komorni	1,3 - 1,5
	6-komorni	1,2 – 1,3

Tabela 3.16 – Koeficijent prolaza toplote okvira – metalni okvir

Vrsta metalnog okvira	U_f W/(m ² ·K)
čelični, sa termičkim prekidom	4,0
čelični, bez termičkog prekida	6,0
aluminijumski, sa termičkim prekidom	2,8 - 3,5
aluminijumski, poboljšani	1,4 – 1,5
specijalni sistemi profila za pasivne kuće	0,7 – 0,8

Tabela 3.17 – Koeficijenti korekcije za toplotne mostove između okvira i stakla

	Koeficijent korekcije, ψ_g	
	2-struko i višestruko staklo, bez sloja za poboljšanje	2-struko i višestruko staklo, sa slojem za poboljšanje
Drveni i PVC –okviri	0,04	0,06
Metalni okviri, sa prekinutim toplotnim mostom	0,06	0,08
Metalni okviri, bez prekinutog toplotnog mosta	0,00	0,02

Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom:

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd} \text{ [kWh/a]} \quad (3.36)$$

gde su:

$Q_{H,nd,interm}$ - Godišnja potrebna toplota za grejanje za sisteme koji rade sa prekidom [kWh/a]

$a_{H,red}$ - bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju;

Bezdimenzijski faktor redukcije u zagrevanju računa se kao:

$$a_{H,red} = 1 - 3 \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad (3.37)$$

gde je:

$f_{H,hr}$ - odnos broja sati rada sistema za grejanje u toku nedelje prema ukupnom broju sati u nedelji ,

γ_H - bezdimenzijski odnos toplotnog bilansa i računa se po formuli (3.26),

$\tau_{H,0}$, τ - vremenske konstante [h].

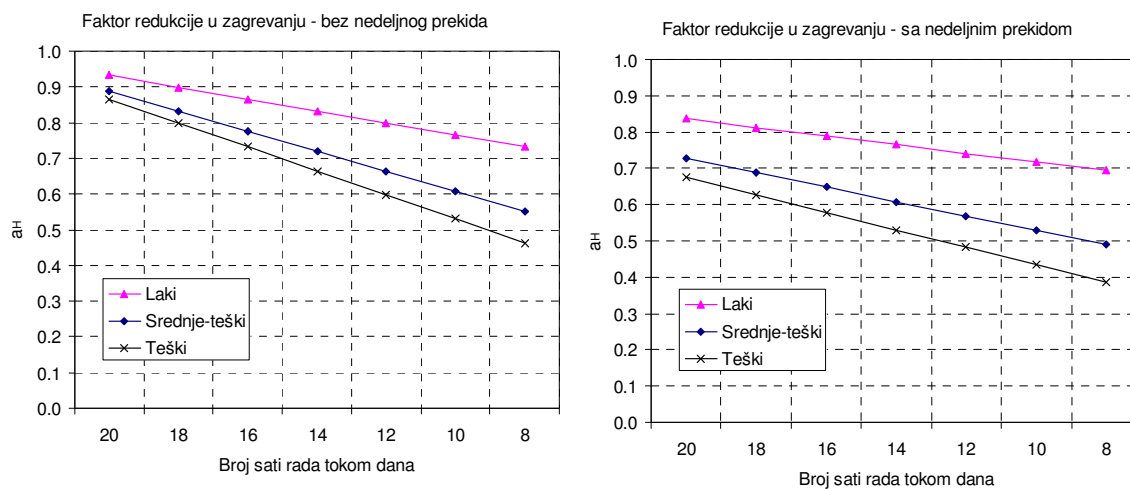
Odnos vremenskih konstanti za (za sezonski ili mesečni metod) se usvajaju prema tipu gradnje, prema sledećim preporukama:

$$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.4 \text{ - za teški tip gradnje;}$$

$$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.33 \text{ - za srednje-teški tip gradnje i}$$

$$(\tau_{H,0} / \tau) = 0.2 \text{ - za laki tip gradnje.}$$

Faktor redukcije u zagrevanju u zavisnosti od vrste i dužine prekida, kao i od tipa gradnje (primer za odnos toplotnog bilansa $\gamma_H = 0.67$) prikazan je na slici 3.10.:



Slika 3. 10 Faktor redukcije u zagrevanju u funkciji dužine prekida i tipa gradnje

3.3 PRORAČUN UKUPNE GODIŠNJE POTREBNE TOPLOTE

Ukupna godišnja potrebna toplota obuhvata finalnu toplotnu energiju potrebnu grejanje tokom zimske sezone, kao i toplotnu energiju za pripremu sanitarne tople vode. S obzirom da od izvora toplote pa do krajnjeg korisnika postoje gubici koji se javljaju u sistemu, neophodno je i njih uzeti u obzir.

Metodologija proračuna data je tabelom 3.18.

3.3.1 Potrebna godišnja energija za pripremu STV

Tabela 3.18 – Metodologija za određivanje ukupne godišnje potrebne toplote:

Veličina	Način proračuna	Primenjeni gran. uslovi
1	2	3
Godišnja potrebna toplota za pripremu sanitarne tople vode, Q_W [kWh/a]	$Q_W = \rho_W \cdot c_W \cdot V_W \cdot (\theta_W - \theta_o)$ V_W - godišnja potrošnja vode [m ³ /a] θ_W - temperatura vode u rezervoaru [°C] θ_o - temperatura vode iz vodovoda [°C]	Prema SRPS EN 15316-3-1 $\rho_W \cdot c_W = 1,16$ [kWh/(m ³ K)], Specifična vrednost data je u tabeli 6.5
Godišnji toplotni gubici sistema za grejanje, $Q_{H,ls}$ [kWh/a]	$Q_{H,ls} = Q_{H,em,ls} + Q_{H,dis,ls} + Q_{H,st,ls} + Q_{H,gen,ls}$, $Q_{H,em,ls}$ - gubici toplote pri razmeni u prostoru prema 15316-2-1 [kWh/a], $Q_{H,dis,ls}$ - gubici toplote u cevnoj mreži prema 15316-2-3 [kWh/a], $Q_{H,st,ls}$ - gubici toplote pri skladištenju u rezervoaru prema 15316-3-3 [kWh/a], $Q_{H,gen,ls}$ - gubici toplote pri proizvodnji prema 15316-4-1 [kWh/a].	Prema SRPS EN 15316
Godišnji toplotni gubici sistema za pripremu sanitarne tople vode, $Q_{W,ls}$ [kWh/a]	$Q_{W,ls} = Q_{W,dis,ls} + Q_{W,st,ls} + Q_{W,gen,ls}$ $Q_{W,dis,ls}$ - gubici toplote u cevnoj mreži razvoda tople vode prema 15316-3-2 [kWh/a], $Q_{W,st,ls}$ - gubici toplote pri skladištenju u rezervoaru prema 15316-3-3 [kWh/a], $Q_{W,gen,ls}$ - gubici toplote pri proizvodnji ili pripremi tople vode prema 15316-3-3 [kWh/a].	Prema SRPS EN 15316
Godišnja potrebna toplota Q_H [kWh/a]	$Q_H = Q_{H,nd} + Q_W + Q_{H,ls} + Q_{W,ls}$	

Gubici koji se javljaju u sistemu grejanja potiču usled proizvodnje (transformacije hemijske energije goriva u toplotu i toplotnih gubitaka kotla u okolinu), prilikom distribucije (toplotnih gubitaka u okolinu prilikom transpotra grejnog fluida od izvora do grejnih tela), prilikom skladištenja (toplotni gubici u okolinu od rezervoara za skladištenje tople vode) i usled gubitaka u razmini toplote u samom grejanom prostoru (koji su vezani za sistem regulacije rada grejnog sistema). Prema tome, ukupni stepen korisnosti postrojenja za grejanje obuhvata stepen korisnosti kotla, cevne mreže i sistema automatske regulacije:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r [-], \text{ čime su obuhvaćeni gubici sistema za grejanje } Q_{H,ls}.$$

Tabela 3.19 – Stepen korisnosti postrojenja za grejanje

1. Kotlovi		
Čvrsto gorivo	Kotlovi bez regulacije	0,65
	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,68
	Kotlovi preko 50 kW sa dobrom ručnom regulacijom	0,72
	Kotlovi do 175 kW sa mehaničkom regulacijom	0,75
	Kotlovi preko 175 kW sa dobrom mehaničkom regulacijom	0,83
Tečno gorivo	Kotlovi do 50 kW sa ručnom regulacijom	0,81 – 0,83
	Kotlovi preko 50 kW sa automatskom regulacijom	0,83 – 0,87
Gasovito gorivo	Kotlovi do 100 kW sa prirodnom promajom	0,80 – 0,88
	Kotlovi preko 100 kW sa prinudnom promajom	0,88 – 0,94
	Kondenzacioni kotlovi	1,08
2. Cevna mreža		
Neizolovana cevna mreža unutar termičkog omotača zgrade		0,95
Izolovana cevna mreža u delu negrejanog prostora zgrade		0,98
Predizolovane cevi toplovodne mreže daljinskog grejanja		0,88 – 0,92
3. Sistem regulacije		
Način regulacije	sa podelom na zone	bez podele na zone
Automatska centralna i lokalna regulacija	1,0	0,95
Automatksa centralna regulacija	0,95	0,92
Ručna centralna regulacija	0,92	0,90

Izolacija cevovoda

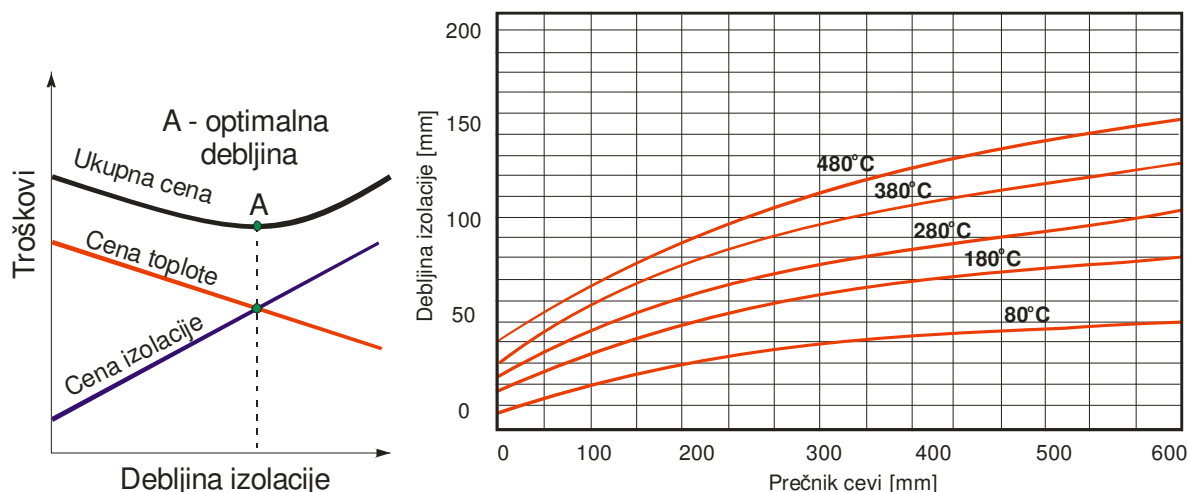
Zadatak izolacije je da se gubici toplote svedu na minimalne vrednosti ili da se iz drugih razloga ograniči površinska temperatura cevi. Ugrađuje se na kotlovima, rezervoarima tople vode, cevovodima, armaturi, razmenjivačima toplote i uređajima smeštenim u negrejanim prostorima.

Dimenzionisanje debljine izolacije može biti izvršeno po različitim kriterijimima:

- da se ostvari ekonomski optimalno snabdevanje toplotom (ulaganja u izolaciju trebaju biti opravdana uštedom na toploti u toku vremenu rada postrojenja),
- da se osigura promena temperature grejnog fluida u odgovarajućim granicama,
- da se ograniči uticaj na okolinu (npr. ograničeno zračenje, ograničena površinska temperatura - dodir).

Optimalna debljina izolacije

Rast cena energije nameće potrebu da se vodi računa o ekonomičnosti. S povećanjem debljine izolacije rastu i troškovi izvođenja, a troškovi usled gubitaka toplote se smanjuju (slika 3.11). Najekonomičnija debljina izolacije je ona kod koje je suma za obe vrste troškova najniža. Optimalna debljina zavisi od cene energije, ali i od cene izolacionog materijala sa ugradnjom. Problem kod izbora može predstavljati činjenica da optimalnu debljinu izolacije treba odrediti za duži vremenski period nakon ugradnje, uz nepoznate tržišne uslove u budućnosti. Često se u različitim priručnicima, katalogima i sl. pronalaze podaci takve vrste. Jedan primer prikazan je na slici 3.12.



Slika 3.11 Optimalna izolacija u funkciji ukupne cene

3.12 Optimalna izolacija u zavisnosti od nazivnog prečnika cevi i temperature fluida koji se transportuje

U tabeli 3.20 prikazane su ekonomski opravdane debljine izolacije za cevi nazovnog prečnika do DN 40, koje važe za današnje cene energije i izolacije.

Tabela 3.20 - Ekonomski opravdane debljine izolacije za različite tipove cevi do DN 40

Navojne čelične cevi	-	-	DN10	DN15	DN20	-	DN25	DN32	-	DN40	
Šavne čelične cevi	-	-	-	-	-	DN25	-	DN32	-	DN40	
Bakrene cevi*	3	15	18	22	-	28	35	-	44	-	
POTREBNA DEBLJINA IZOLACIJE CEVI u [mm]											
Toplotna provodljivost λ [W/mK]	0.025	10	11	11	11	3	17	18	18	23	24
	0.030	15	15	15	15	15	23	23	24	31	31
	0.035	20	20	20	20	20	30	30	30	40	40
	0.040	27	27	26	26	25	38	38	38	51	50
	0.045	36	35	34	33	30	49	47	47	63	69
	0.050	48	45	43	41	39	61	59	57	78	77

* Spoljni prečnik cevi

U tabeli 3.21 prikazana je potrebna debljina termičke izolacije cevovoda i rezervoara koji se koriste u centralnim sistemima grejanja i sistemima za pripremu sanitarne tople vode.

Tabela 3.21 – Potrebna minimalna debljina termičke izolacije cevovoda i rezervoara

Spoljašnji prečnik [mm]	30 - 83	89 - 159	191 - 267	292 - 394	219 – 521 rezervoari
Debljina izolacije [mm]	40	50	60	70	80

3.4 POTREBNA GODIŠNJA ENERGIJE ZA HLAĐENJE I VENTILACIJU

Ukupna godišnja potrebna energija za hlađenje obuhvata potrebnu finalnu energiju uvećanu za gubitke koji nastaju u sistemu. Toplota hlađenja koju je potrebno odvesti iz prostorija odgovara količini toplote koja u letnjem periodu opterećuje prostor usled dobitaka toplote koji potiču iz različitih izvora (unutrašnjih i spoljnih). Rashladni učinak postrojenja se određuje na

osnovu maksimalnog toplotnog opterećenja u projektnim uslovima (kao što se grejni učinak postrojenja za grejanje određuje na osnovu gubitka toplote u zimskim uslovima).

Kod klimatizacionih sistema koji rade sa svežim vazduhom potrebnim za ventilaciju, odvaja se ona količina toplote koja je potrebna za pripremu spoljnog vazduha (bilo da je reč o zagrevanju vazduha u zimskom ili o hlađenju u letnjem periodu. Kod ventilacionih sistema, putem kojih se mehanički ubacuje vazduh u prostorije, potrebno je izračunati potrebnu energiju za pripremu svežeg vazduha. Kod ventilacionih sistema kojima se vazduh samo izvlači iz prostorija (tako da se one nalaze u podpritisku), računa se uticaj rada mehaničkog sistema ventilacije na povećanu infiltraciju spoljašnjeg vazduha.

Iz navedenih razloga, metodologija proračuna potrebne energije za hlađenje i potrebne energije za ventilaciju i klimatizaciju tretirana je različitim standardima, što je prikazano u tabeli 3.22.

Tabela 3.22 – Potrebna minimalna debljina termičke izolacije cevovoda i rezervoara

Veličina	Način proračuna	Primenjeni gran. uslovi
1	2	3
Godišnja potrebna energija za hlađenje, $Q_{C,nd}$ [kWh/a]	$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_T + Q_V),$ Specifična vrednost: $Q_{C,an} = \frac{Q_{C,nd}}{A_f} \text{ [kWh/(m}^2 \text{ a)],}$ $\eta_{C,ls}$ - faktor iskorišćenja gubitaka toplote [-] A_f – korisna površina zgrade [m ²]	Prema SRPS EN ISO 13790
Godišnji gubici sistema za hlađenje $Q_{C,ls}$ [kWh/a]	Prema SRPS EN 15243	Prema SRPS EN 15243
Godišnja potrebna energija za hlađenje, Q_C [kWh/a]	$Q_C = Q_{C,nd} + Q_{C,ls}$	
Godišnja potrebna energija za ventilaciju i klimatizaciju, Q_{Ve} [kWh/a]	Prema: SRPS EN 15243, SRPS EN 15241, SRPS EN ISO 13790	Prema: SRPS EN 15243, SRPS EN 15241, SRPS EN ISO 13790
Godišnja energija za osvetljenje, E_l [kWh/a]	Prema: SRPS EN 15193	Prema: SRPS EN 15193

3.5 ISPORUČENA I PRIMARNA ENERGIJA, GODIŠNJA EMISIJA CO₂

Ukupna godišnja isporučena energija računa se kao zbir energija potrebnih za grejanje i pripremu sanitarne tople vode, za hlađenje, za ventilaciju i klimatizaciju, za grejanje, za osvetljenje i za rad pomoćnih sistema (kao što su pumpe i ventilatori sistema grejanja i klimatizacije):

$$E_{del} = Q_H + Q_C + Q_{Ve} + E_l + Q_{aux} \text{ [kWh/a].}$$

Važno je napomenuti da nije moguće sabiranje potrebnih energija različitog oblika, kao na primer toplotne energije i električne energije, tako da prethodno navedena jednačina ima figurativni karakter. Sabiranje je moguće tek kada se svi vidovi energije svedu na primarnu

energiju, uz poznavanje iz kog izvora je dobijena finalna energija i kakvi su gubici nastali prilikom transformacije i distribucije.

Za konverziju finalne energije u primarnu se koriste faktori pretvaranja za pojedine izvore toplote koji se koriste u sistemima grejanja, koji su prikazani u tabeli 3.27.

Tabela 3.23 – Faktori pretvaranja za proračunavanje godišnje primarne energije za pojedine vrste izvora toplote

ENERGENT	FAKTOR PRETVARANJA
Ulje za loženje	1,2
Gas	1,1
Ugalj	1,3
Drvena biomasa	0,1
Električna energija	2,5
Daljinsko grejanje na fosilna goriva	1,8
Daljinsko grejanje kogeneracijom	1,0

Godišnja primarna energija za funkcionisanje zgrade određuje se tako što se godišnja isporučena energija za rad sistema u zgradi pomnoži sa faktorom pretvaranja određenim u tabeli 3.23, u zavisnosti od izvora snabdevanja energijom.

Specifične emisije CO₂ prikazane su u tabeli 3.24.

Tabela 3.24 – Specifične emisije CO₂ za pojedine vrste energenata

Energent	Po jedinici goriva	Po jedinici energije
zemni gas	1,9 kg/m ³	0,20 kg/kWh
tečni naftni gas	2,9 kg/kg	0,215 kg/kWh
ekstra lako ulje za loženje	2,6 kg/l	0,265 kg/kWh
lako ulje za loženje	3,2 kg/kg	0,28 kg/kWh
daljinska toplota	0,33 kg/kWh	0,33 kg/kWh*
električna energija	0,53 kg/kWh	0,53 kg/kWh
smeđi ugalj (domaći)	1,5 kg/kg	0,32 kg/kWh
smeđi ugalj (strani)	1,88 kg/kg	0,40 kg/kWh
lignit (domaći)	1,0 kg/kg	0,33 kg/kWh

***Napomena:** Podaci se koriste u slučaju kada isporučilac energenta ne navede emisiju za svoj izvor energenata, odnosno energije.

Proračun emisije CO₂ i pokazatelji:

- 1) Emisije CO₂, koje nastanu tokom funkcionisanja objekta, određuju se na osnovu podataka specifične emisije CO₂ za pojedine izvore energije, tako što se godišnja potrebna primarna energija za funkcionisanje objekta, prema određenom izvoru energije, pomnoži pripadajućim podatkom specifične emisije CO₂, koji je dat u tabeli 6.13 ovog pravilnika i vrednosti saberu.

- 2) Pokazatelji emisije CO₂ izražavaju se u obliku godišnjih emisija CO₂ [kg/a] i specifičnih godišnjih emisija na jedinicu površine CO₂ [kg/m²a].

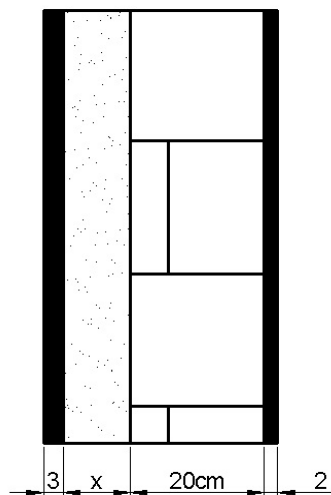
3.6 PRIMERI

3.6.1 Uticaj debljine termičke izolacije na koeficijent prolaza toplote

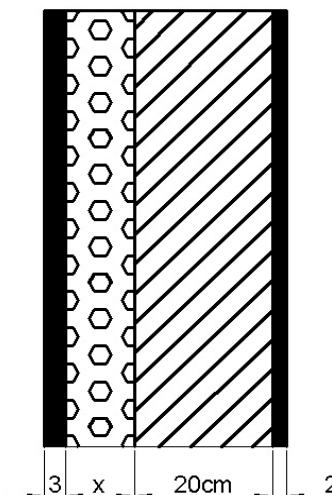
Izračunati uticaj promene debljine izolacionog sloja u fasadnom zidu na ukupni površinski koeficijent prolaženja toplote. Varirati sledeće debljine izolacije: 3, 5, 8, 10, 3, 15 i 20cm. Fasadni zid se sastoji iz sledećih slojeva:

3.6.1.1 Konstrukcija zida Tip 1 (slika P 3.1):

- Cementni malter debljine d=3cm
- Izolacija (mineralna vuna)
- Puna opeka debljine d=20cm
- Krečni malter debljine d=2cm



Slika P3.1 Konstrukcija spoljašnjeg zida od opeke



Slika P3.2 Konstrukcija spoljašnjeg zida

2.8.1.2 Konstrukcija zida Tip2 (Slika P3.2):

- Cementni malter debljine d=3cm
- Izolacija (ekstrudirani polistiren)
- Puni blokovi od lakog betona debljine d=20cm
- Krečni malter debljine d=2cm

Ukupni površinski koeficijent prolaženja toplote U [W/(m²·K)], za građevinski element jednostavne heterogenosti računa se, prema SRPS EN ISO 6946, prema sledećoj formuli:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_m \frac{d_m}{\lambda_m} + R_{se}}$$

gde su:

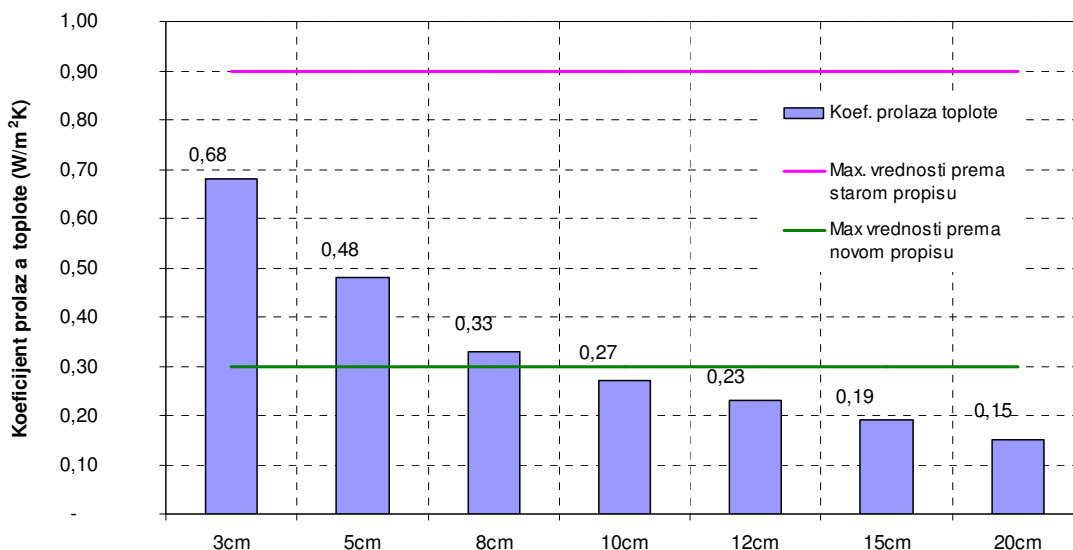
R_{si} - unutrašnji otpor prelaženju toplote [$m^2 \cdot K/W$]

R_{se} - spoljašnji otpor prelaženju toplote [$m^2 \cdot K/W$]

d_m - debljina m-tog sloja zida [m]

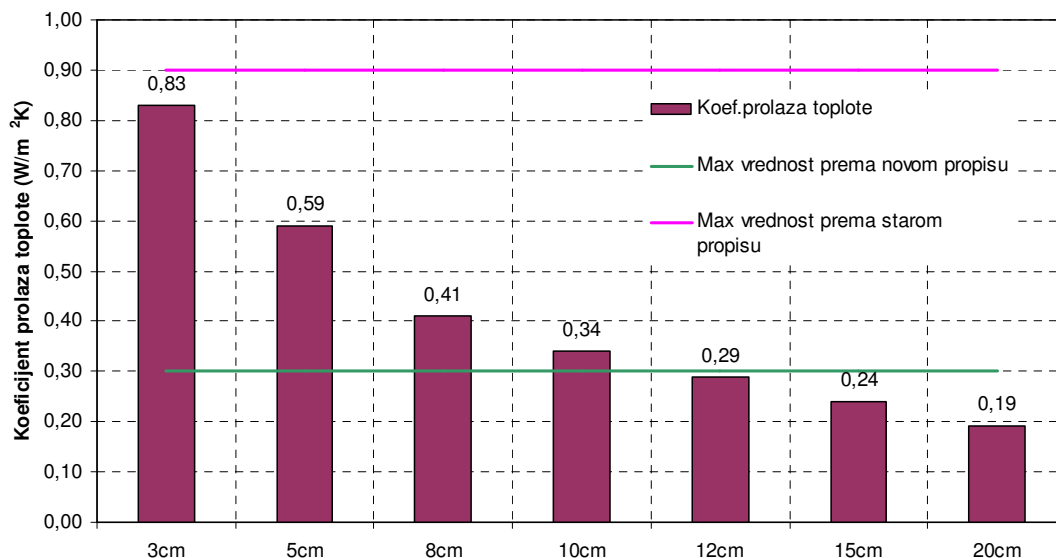
λ_m - toplotna provodljivost m-tog sloja zida [$W/(m \cdot K)$]

Promena koeficijenta prolaženja toplote U [$W/(m^2 \cdot K)$] za konstrukciju zida Tip 1, u funkciji od različitih debljina izolacije prikazana je na slici P 3.3:



Slika P 3.3. Promena koeficijenta prolaženja toplote U [$W/(m^2 \cdot K)$] za konstrukciju zida Tip 1, u funkciji od različitih debljina izolacije

Promena koeficijenta prolaženja toplote U [$W/(m^2 \cdot K)$] za konstrukciju zida Tip 2, u funkciji od različitih debljina izolacije prikazana je na slici P 3.4:



Slika P 3.4. Promena koeficijenta prolaženja toplote U [$W/(m^2 \cdot K)$] za konstrukciju zida Tip 2, u funkciji od različitih debljina izolacije

3.6.2.1 Uticaj izolacionog materijala na otpor prolazu toplote kroz zid

Izračunati ukupni otpor prolaženju toplote kroz zid konstrukcije Tip1 (Slika P3.1), za različite vrste izolacije: staklena mineralna vuna, kamena mineralna vuna, pluta, poliuretani, ekstrudirani polistiren, ekstrudirani polistiren sa grafitom. Varirati sledeće debljine izolacije: 3, 5, 8, 10, 3, 15 i 20cm.

Ukupni otpor prolaženju toplote R [(m²·K)/W], za građevinski element jednostavne heterogenosti računa se, prema sledećoj formuli:

$$R = R_{si} + \sum_m \frac{d_m}{\lambda_m} + R_{se}$$

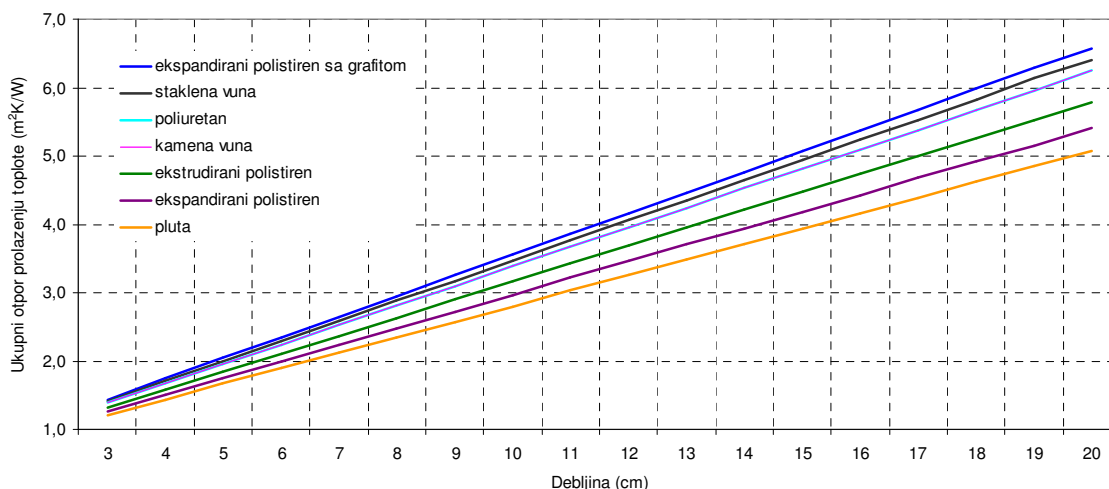
gde su:

R_{si} - unutrašnji otpor prelaženju toplote [m²·K/W]

R_{se} - spoljašnji otpor prelaženju toplote [m²·K/W]

d_m - debljina m-tog sloja zida [m]

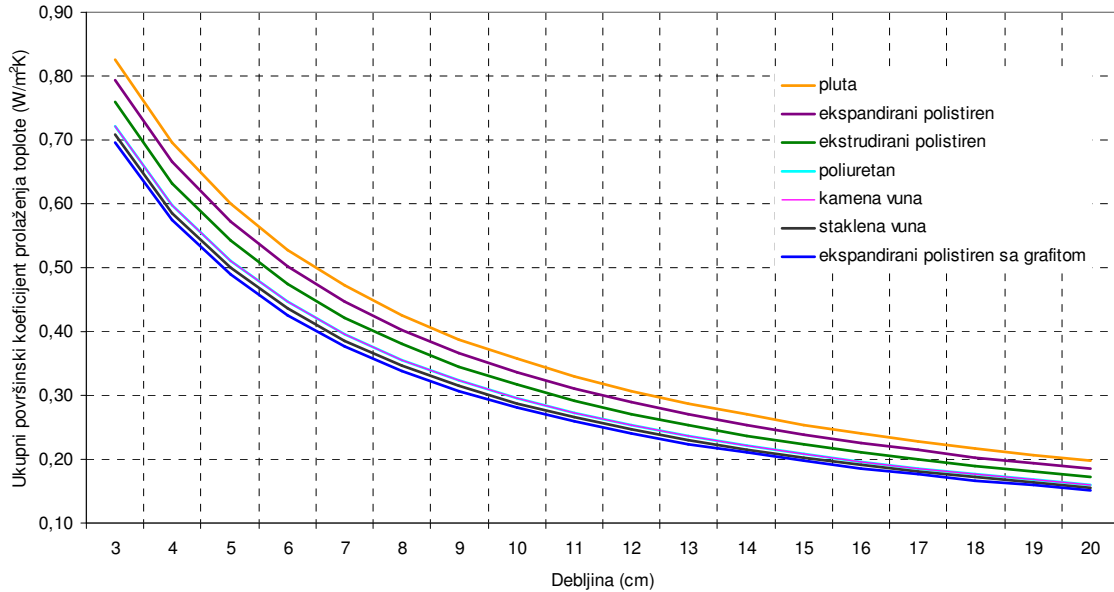
λ_m - toplotna provodljivost m-tog sloja zida [W/(m·K)]



Slika P 3.5. Ukupni otpor prolaženju toplote kroz zid konstrukcije Tip1 u funkciji od različitih vrsta izolacionog materijala (staklena mineralna vuna, kamena mineralna vuna, pluta, poliuretani, ekstrudirani polistiren, ekstrudirani polistiren sa grafitom) i različitih debljina izolacije

3.6.2.2 Uticaj izolacionog materijala na koeficijent prolaza toplote kroz zid

Izračunati ukupni površinski koeficijent prolaženja toplote kroz zid konstrukcije Tip1 (Slika P 3.1), za različite vrste izolacije: staklena mineralna vuna, kamena mineralna vuna, pluta, poliuretani, ekstrudirani polistiren, ekstrudirani polistiren sa grafitom. Varirati sledeće debljine izolacije: 3, 5, 8, 10, 3, 15 i 20cm.

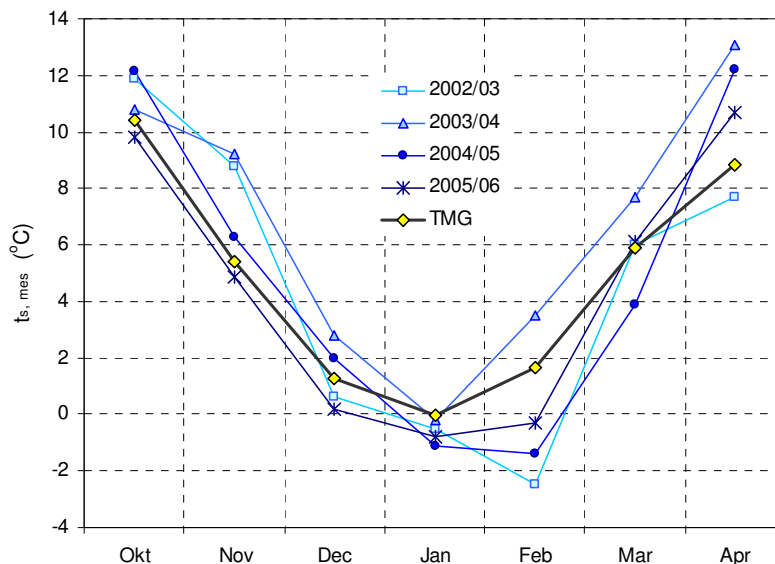


Slika P 3.6. Ukupni površinski koeficijent prolaženja toplote kroz zid konstrukcije Tip1 u funkciji od različitih vrsta izolacionog materijala (staklena mineralna vuna, kamena mineralna vuna, pluta, poliuretan, ekspanzirani polistiren, ekstrudirani polistiren, ekspanzirani polistiren sa grafitom) i različitih debljina izolacije

3.6.3. Porebna toplota za grejanje - primeri proračuna na pilot objektu

Merenja potrošnje toplote za grejanje u zgradi koja se nalazi na Novom Beogradu započela su sa grejnom sezonom 2002/03, nakon rekonstrukcije toplotne podstanice. Saradnja sa JKP "Beogradske elektrane" i Mašinskog fakulteta u Beogradu podržana je od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz dvogodišnji istraživački projekat. Zatim je usledio novi projekat u okviru Nacionalnog Programa Energetske Efikasnosti u oblasti zgradarstva, a merenja su nastavljena na istom pilot objektu. Podstanica je rekonstruisana u potpunosti uz ugradnju cirkulacionih pumpi sa promenljivim brojem obrtaja koje rade sa promenljivim protokom grejnog fluida i ugrađeno je merilo urošene toplote. Sva grejna tela kućne instalacije opremljena su radijatorskim ventilima sa termostatskim glavama i deliteljima toplote. Na taj način je omogućena lokalna regulacija toplotnog učinka, kao i praćenje potrošnje toplote za grejanje na svakom grejnom telu, odnosno u svakom stanu. Stambena zgrada je blokovskog tipa gradnje, iz 80-tih godina prošlog veka, sastoji se iz 5 lamela (sa zasebnim ulazima), spratnosti P+5+Pot, sa 135 stambenih jedinica i ukupne korisne površine stambenog prostora od 6653 m².

Srednje mesečne temperature su prikazane na slici P 3.7, i dato je poređenje sa vrednostima dobijenim iz TMG. Jasno se može uočiti da je model godina dobar reprezent vremenskih prilika tokom zime u Beogradu. Najveća odstupanja javljaju se tokom februara, što se takođe odrazilo na proračunsku vrednost potrebne toplote za grejanje.

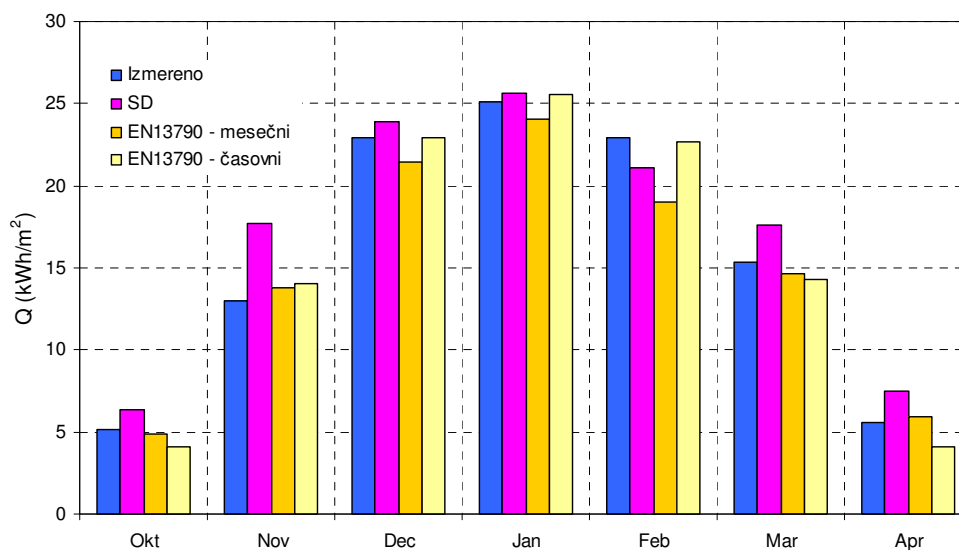


Slika P 3.7 Srednje mesečne temperature spoljnog vazduha tokom 4 grejne sezone u poređenju sa srednjim mesečnim temperaturama prema TMG

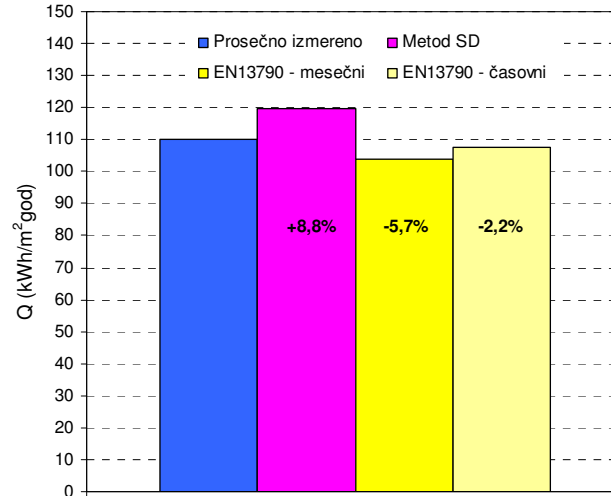
Proračun potrebne toplote za grejanje sproveden je uz korišćenje 3 različite metode:

1. Metod stepen-dana,
2. Mesečni metod prema EN ISO 13790 i
3. Časovni metod prema EN ISO 13790.

Na slikama P.3.8 i P.3.9 date su uporedno vrednosti potrebne toplote za grejanje dobijene merenjem i putem 3 različite metode. Metod stepen-dana daje najveće vrednosti, što se i moglo očekivati, s obzirom da ovaj metod ne uzima u obzir dobitke toplote koji doprinose smanjenju toplotnih gubitaka i potrebe za grejanjem. Najveća odstupanja se javljaju u prelaznom periodu, kada je uticaj toplotnih dobitaka veći.



Slika P 3.8 Prosečno izmerena vrednost mesečne potrošnje toplote za grejanje u poređenju sa izračunatim vrednostima prema različitim metodama



Slika P 3.9 Prosečno izmerena vrednost potrošnje toplote za grejanje na godišnjem nivou u poređenju sa računskim vrednostima

Odstupanja koja se dobijaju primenom mesečne i časovne metode prema EN ISO 13790 manja su u odnosu na metod broja stepen-dana. Ipak, primenom ovih metoda dobijaju se niže vrednosti od izmerenih, što je posledica sledećih uticaja:

- Proračunske vrednosti su dobijene korišćenjem klimatskih podataka iz TMG,
- Dnevni rasporedi korišćenja prostora i dobitaka toplote od unutrašnjih izvora usvojeni su za tipičnu stambenu zgradu,
- proračunske vrednosti su dobijene za unutrašnju projektnu temperaturu od 20°C, dok su izmerene temperature vazduha u pojedinim stanovima tokom grejnih sezona iznosile iznad 22°C.

Kada je u pitanju proračun potrebne količine toplote za grejanje, uprošćene metode mogu dati zadovoljavajuće rezultate na godišnjem nivou, sa određenim odstupanjima tokom grejne sezone. Prilikom unosa ulaznih podataka mora se voditi računa o izboru onih vrednosti koje se preporučuju i koje se uzimaju iz tablica za određeni tip objekta. Izbor klimatskih podataka je takođe važan i mora biti ažuriran i u skladu sa lokacijom na kojoj se objekat nalazi. Dinamika promene spoljnih uslova, koji diktiraju potrebu za grejanjem, nije izražena za razliku od letnjeg perioda. Najveća odstupanja proračunskih vrednosti za grejnu sezonu dobijaju se upravo u prelaznim periodima. Tokom leta, uticaj Sunčevog zračenja je gotovo dominantan, kao i uticaj termičke mase objekta na njegovo ponašanje. Uvođenjem pasivnog hlađenja tokom noći značajno je moguće sniziti toplotna opterećenja tokom dana. Dakle, kada je u pitanju određivanje potrebne toplote hlađenja u letnjem periodu, za pravilan pristup potrebno je koristiti detaljnu dinamičku simulaciju termičkog ponašanja objekta.

3.6.4 Proračun potrebne primarne energije i emisije

Ako postoji jedan izvor toplote za grejanje (npr. klasični gasni kotao), onda ukupnu finalnu energiju treba uvećati za gubitke u sistemu preko stepena korisnosti postrojenja, kako bi se izračunala količina toplote koju sistem treba da isporuči.

Ako ima dva ili više izvora toplote za grejanje (npr. kotao i toplotna pumpa) onda se udeo svakog izvora računa posebno.

Godišnja isporučena toplotna energija za grejanje:

$$Q_H = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r} = Q_{H,nd} + Q_{H,ls}, \text{ odnosno gubici u sistemu su:}$$

$$Q_{H,ls} = Q_{H,nd} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right).$$

Potrebna primarna energija za grejanje:

$$E_{prim} = Q_H \cdot f_{prim,1} + Q_{aux} \cdot f_{prim,2}$$

gde je:

$f_{prim,1}$ - faktor pretvaranja za vrstu energenta/energije koji se koristi za dobijanje toplote

$f_{prim,2}$ - faktor pretvaranja za električnu energiju koju koriste pomoćni sistemi (npr. cirkulacione pumpe)

Primer:

Za novu stambenu zgradu u Beogradu koja pripada srednje-teškom tipu gradnje, neto korisne površine 494 m², izračunata je potrebna toplota za grejanje kada sistem radi bez prekida:

$$Q_{H,nd} = 20684 \text{ kWh/a}$$

Sistem radi sa noćnim prekidom od 8 h, bez nedeljnog prekida u zagrevanju, pa faktor redukcije u zagrevanju iznosi:

$$a_{H,red} = 1 - 3 \left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) = 1 - 3 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0.667 \cdot (1 - 0.667) = 0.776,$$

gde je odnos vremenskih konstanti za mesečni model:

$$\left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) = 0.2 - \text{za laki tip gradnje,}$$

$$\left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) = 0.333 - \text{za srednje-teški tip gradnje,}$$

$$\left(\frac{\tau_{H,0}}{\tau} \right) = 0.4 - \text{za teški tip gradnje,}$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} - \text{bezdimezisioni odnos toplotnog bilansa i}$$

$f_{H,hr}$ - odnos broja sati rada sistema za grejanje u toku nedelje prema ukupnom broju sati u

$$\text{nedelji } (f_{H,hr} = \frac{7 \cdot 16}{7 \cdot 24} = 0.667).$$

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} \cdot Q_{H,nd} = 0.776 \cdot 20684 = 16050 \text{ kWh/a}$$

Specifična potrebna finalna energija za grejanje:

$$q_{H,nd} = \frac{16050}{494} = 32.5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$Q_{H,nd,rel} = 54\%$ - zgrada ima energetski razred „C“.

Gubici u sistemu iznose:

$$Q_{H,ls} = Q_{H,nd} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 16050 \cdot \left(\frac{1}{0.88 \cdot 0.98 \cdot 1.0} - 1 \right) = 2561 \text{ kWh/a}$$

Isporučena toplota iznosi:

$$Q_H = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_k \cdot \eta_c \cdot \eta_r} = Q_{H,nd} + Q_{H,ls} = 16050 + 2561 = 18611 \text{ kWh/a}$$

Energija potrebna za rad cirkulacione pumpe:

$$Q_{aux} = n \cdot P_p = 175 \cdot 16 \cdot 0.1 = 2800 \cdot 0.1 = 280 \text{ kWh/a},$$

gde je:

n – broj sati rada pumpe (175 dana grejne sezone i 16 sati dnevno),

P_p – prosečna snaga pumpe (instalirana nazivna snaga kod pumpi sa konstantnim brojem obrtaja, odnosno prosečna snaga kod pumpi sa promenljivim brojem obrtaja).

Potrebna primarna energija za rad sistema grejanja iznosi:

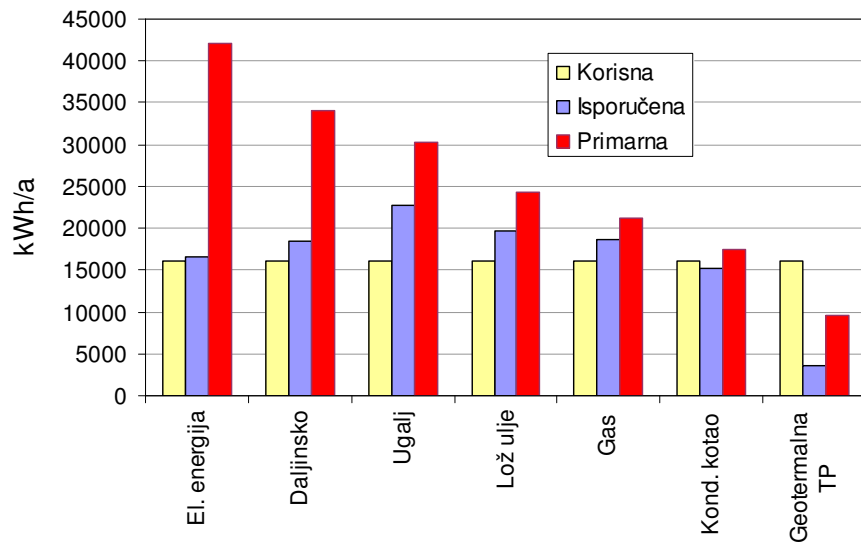
$$E_{prim} = Q_H \cdot f_{prim,1} + Q_{aux} \cdot f_{prim,2} = 18611 \cdot 1.1 + 280 \cdot 2.5 = 20472 + 700 = 21172 \text{ kWh/a}$$

Godišnja emisija CO₂ iznosi:

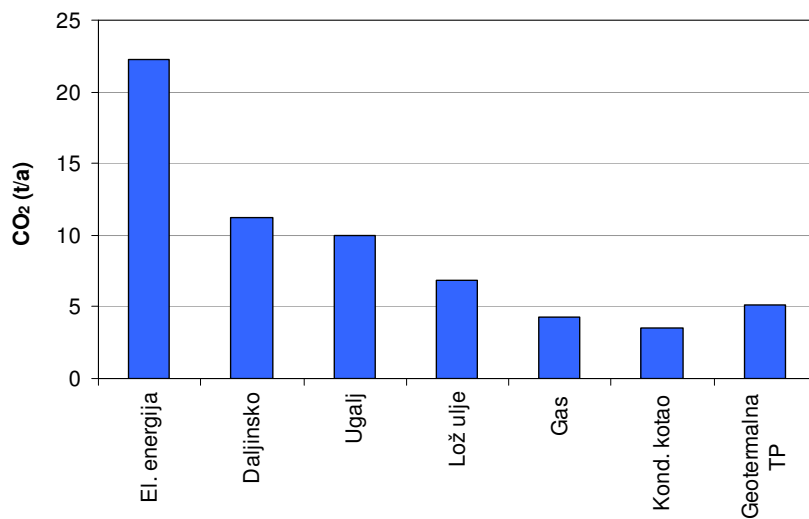
$$CO_2 = E_{prim} \cdot EM_{CO_2} = 21172 \cdot 0.20 = 4234 \text{ kg/a, odnosno:}$$

$$CO_2 = \frac{4234}{494} = 8.57 \text{ kg/m}^2\text{a}.$$

Dijagramom na slici P 3.10 prikazano je poređenje potrebne primarne energije u zavisnosti od izvora toplote u sistemu, za istu potrebnu finalnu energiju za grejanje zgrade. Na slici P 3.11 dato je poređenje emisije CO₂ u funkciji izvora toplote.



Slika P 3.10 Poređenje potrebne primarne energije u zavisnosti od izvora toplote u sistemu



Slika P 3.11 Poređenje emisije CO₂ u funkciji izvora toplote u sistemu