

Postupak određivanja energetske karakteristike zgrade prema ISO 52016-1

Sandra Lj. Kovačević, Miloš J. Banjac

* Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu

Rezime - Sa idejom usklađivanja sa aktuelnom EU regulativom u vezi metodologije koja se koristi za energetske sertifikacije zgrada, a u cilju ostvarenja uštede energije u sektoru zgradarstva, predstavljena i analizirana je metodologija dinamičkog časovnog proračuna za određivanje energetskih potreba zgrade za grejanjem i hlađenjem. Predstavljena metoda zasnovana je na novom, trenutno važećem standardu SRPS EN ISO 52016-1. Za razliku od prethodne časovne tzv. metode tri čvora, utvrđene sad već povučenim standardom SRPS EN ISO 13790, ova metoda ne grupiše slojeve građevinskog omotača, već svaki sloj svakog elemenata građevinskog omotača tretira odvojeno. U skladu sa tim, nova metoda proračuna zasniva se na formiranju jednačina energetskih bilansa ne samo za unutrašnju i spoljašnju graničnu površinu, već i za svaki sloj građevinskog elementa, i njihovim spregnutim rešavanjem za granične uslove koji se menjaju na časovnom nivou.

Zbog kompleksnosti ove metodologije, koja pored časovnih temperatura spoljašnjeg vazduha, časovnih vrednosti dozračenog Sunčevog zračenja, zračenja neba, ali i sopstvenog zračenja svih čvrstih površina, u obzir uzima i dinamičko ponašanje svih elemenata termičkog omotača zgrade (otpor provođenju toplote i akumulaciju toplote svakog sloja omotača), razvijen je poseban softver, čija je provera, kao i provera metodologije izvršena na primeru određivanja energetskih potreba model objekta za grejanjem i hlađenjem.

Ključne reči - metodologija časovnog proračuna; potreba zgrade za grejanjem i hlađenjem; SRPS EN ISO 52016-1

I UVOD

Cilj Evropske unije (EU) već više od trideset godina je smanjenje potrošnje energije, zbog čega posebnu pažnju posvećuje sektoru zgradarstva, budući da se u tom sektoru troši oko 40% ukupne energije proizvedene u Evropi. EU je uspostavila zakonodavni okvir, koji uključuje niz direktiva, kao što su Direktiva o energetskim performansama zgrada 2002/91/EC, koja je izmenjena 2010/31/EU i Direktiva o energetskoj efikasnosti 2012/27/EU. Glavni cilj je poboljšanje energetskih svojstava zgrada, uzimajući u obzir spoljašnje klimatske i lokalne uslove, kao i unutrašnje klimatske zahteve, koji definišu uslove komfora i ekonomičnosti. Nakon toga, EU izdaje Direktivu o izmenama i dopunama Direktive o energetskim performansama zgrada (2018/844/EU), koja je uvela nove elemente i poslala snažan politički signal o posvećenosti EU da modernizuje sektor zgradarstva u svetlu tehnoloških poboljšanja i da poveća obim renoviranja zgrada. U decembru 2021. godine, Evropska komisija predložila je reviziju direktive

(COM (2021) 802 final). Ovim izmenama dalje se nadograđuje postojeći regulatorni okvir, kako bi se održale veće ambicije i hitnije potrebe u klimatskim i društvenim akcijama.

Srbija kao potpisnica Ugovora o osnivanju Energetske zajednice, dužna je da u skladu sa odgovarajućom odlukom Ministarskog saveta Energetske zajednice usklađuje svoje nacionalno zakonodavstvo sa EU. Vlada RS usvojila je nekoliko pravilnika iz ove oblasti, među kojima je i Pravilnik o energetskoj efikasnosti zgrada ("Sl. glasnik RS", br. 61/2011). Prema ovom pravilniku, propisano je da se proračun potreba zgrade za energijom sprovodi u skladu sa metodologijom propisanom u Standardu SRPS EN ISO 13790:2010 i to najjednostavnijom od tri predviđene metode – potpuno definisanom kvazi-stacionarnom mesečnom metodom proračuna (posebna opcija je sezonski metod). Nažalost, pravilnikom je predviđeno da se energetska sertifikacija zgrade sprovodi samo prema potrebama zgrade za energijom za grejanje, a izostavljene su i zanemarene potrebe zgrade za energijom za hlađenje, obuhvatanje uticaja vrste i efikasnosti termo-tehničkih sistema koji obezbeđuju ove potrebe, kao i korišćenje obnovljivih izvora energije. Najveći nedostatak ove, trenutno važeće regulative, je što je Standard SRPS EN ISO 13790:2010 povučen iz upotrebe još 2017. godine, a njega su zamenili SRPS EN ISO 52016-1 i SRPS EN ISO 52016-2.

Zbog toga, a sa idejom usklađivanja sa aktuelnom EU regulativom, u ovom radu je predstavljena i analizirana metodologija dinamičkog časovnog proračuna za određivanje energetskih potreba zgrade za grejanjem i hlađenjem, zasnovana na novom, trenutno važećem standardu SRPS EN ISO 52016-1.

II POSTUPCI ČASOVNOG PRORAČUNA PREMA ISO 52016-1

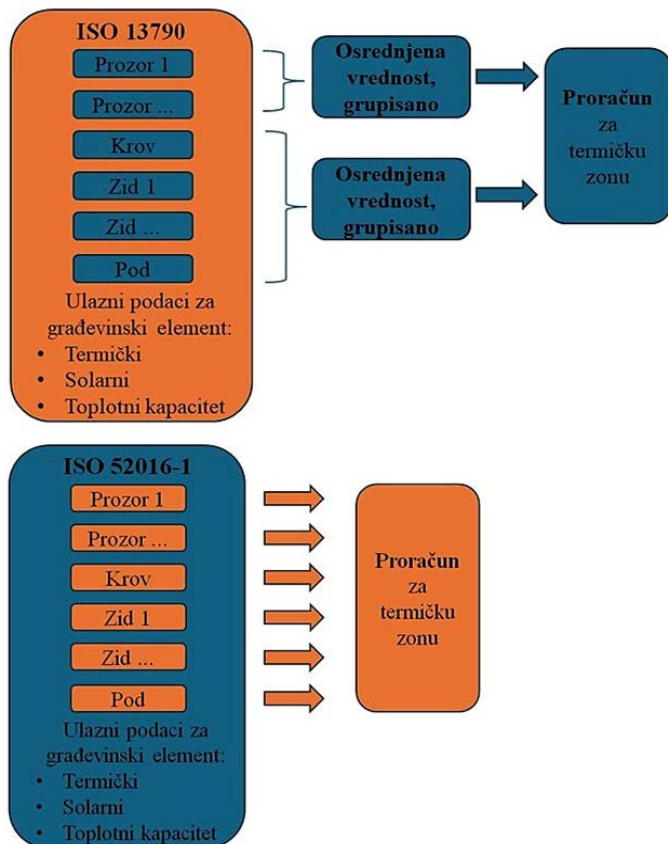
Časovna metoda u ISO 52016-1 je izmenjena, naprednija u poređenju sa pojednostavljenom metodom sa tri čvora, propisanom u ISO 13790. Glavna razlika je u tome što građevinski elementi nisu grupisani na osnovu nekoliko parametara, već su odvojeni u modelu. ISO 52016-1 koristi termički model (pojednostavljen) za svaki element zgrade posebno, kao što je prikazano na slici 1 [1,2].

Na osnovu razlike, da svojstva svakog građevinskog elementa ostaju pojedinačno poznata, umesto da se grupišu na samo dva toplotna otpora, prevaziđeni su problemi prethodne metode, tj.:

- više ne postoji dilema o tome kako kombinovati npr. prolaženje toplote kroz krov i kroz prizemlje, sa veoma različitim uslovima okoline (temperatura tla i inercija tla, Sunčevo zračenje na krovu);
- toplotni kapacitet zgrade ili zone zgrade može biti

specifičan za svaki građevinski element zgrade i nema potrebe za grupisanjem u jedan ukupni toplotni kapacitet za zgradu ili zonu;

- srednja temperatura unutrašnje površine (srednja temperatura zračenja) može se jasno identifikovati i razlikovati od unutrašnje temperature vazduha;
- u isto vreme, ulazni podaci koje treba da obezbedi korisnik su isti kao i za mesečnu metodu [1].



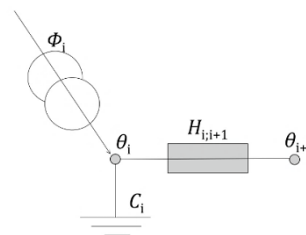
Slika 1. Poređenje časovne metode u ISO 13790 i ISO 52016-1

Časovna metoda proračuna se može primeniti za stambene i nestambene zgrade, ili za njihove delove, koji su u fazi projektovanja, na nove zgrade nakon izgradnje i na postojeće zgrade u fazi korišćenja. Časovna metoda pokriva tri oblasti primene [1]:

- proračun energetske potrebe,
- proračun unutrašnje temperature i
- proračun projektnih opterećenja za grejanje i hlađenje.

II.1 Osnovni principi metodologije

Časovni metod ISO 52016-1 podrazumeva formiranje sistema jednačina za svaki sat, koje energetski opisuju prenos toplote između spoljašnje i unutrašnje sredine kroz netransparentne i transparentne elemente, koji čine omotač zone. On koristi tzv. RC-model (slika 2), koji svaki sloj građevinskog elementa zamenjuje čvorovima, koji imaju sposobnost da pružaju otpor provođenju toplote (R -resistance), kao i sposobnost akumulacije toplote (C -capacity) [1,3].

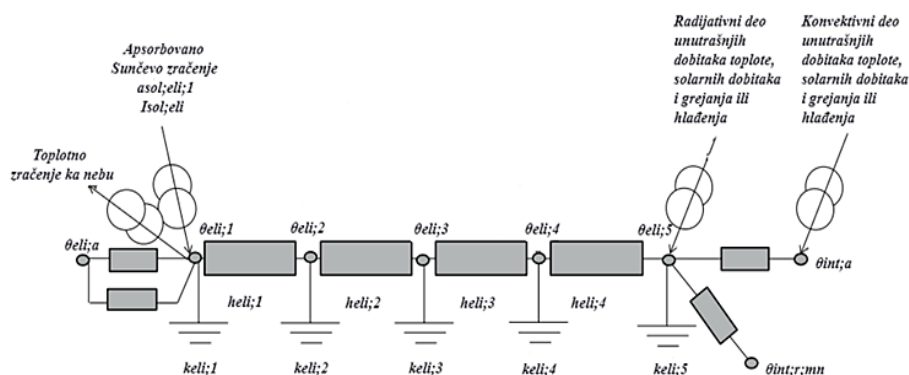


Slika 2. RC-model

Na slici 3 predstavljena je ilustracija RC-modela po elementu zgrade. Specifične adaptacije predstavljenog modela, vrše se za unutrašnje pregrade i elemente koji su u kontaktu sa tlom. Termička masa se može zanemariti kod transparentnih građevinskih elementa, u tom slučaju postoje dva čvora (unutrašnji i spoljašnji površinski čvor). Tačnije, bilo koje Sunčevo zračenje apsorbirano na spoljnoj površini ili unutar transparentnog elementa (sekundarno dobijanje Sunčeve toplote) se aproksimira kao da se direktno prenosi u unutrašnju sredinu, odnosno termičku zonu [1,3].

Dobijeni sistem jednačina rešava se matričnom metodom i kao rezultat dobija se vrednost temperature vazduha unutar zone, kao i temperatura svakog čvora. Svaki element konstrukcije (npr. pod, prozor, zid) je modelovan kao niz od nekoliko čvorova [1]:

- netransparentni elementi podeljeni su na 4 sloja sa 5 čvorova,
- prozori i vrata sastoje se od 2 čvora i nisu podeljeni na posebne slojeve.



Slika 3. RC-model građevinskog elementa

II.2 Energetski bilansi

Energetski bilans se postavlja za svaki čvor (*pli*) - *pli* = 1, 2, ..., *pln*, građevinskog elementa *eli*. U skladu sa međunarodnom konvencijom, numerisanje čvorova elemenata konstrukcije vrši se od spolja (broj čvora *pli* = 1), ka unutra (broj čvora *pli* = *pln*). Formula bilansa za svaki element prikazana je po jedinici površine (m^2). U zavisnosti od vrste elementa i položaja samog sloja, toplotni protok koji se dovodi u čvor može biti, [1,3]:

- apsorbovano Sunčevo zračenje;
- emitovano dugotalasno zračenje prema nebu;
- radijativni deo unutrašnjih toplotnih dobitaka; i
- opterećenje grejanje ili hlađenja.

Energetski bilans po elementu zgrade i toplotni bilans u zoni, mogu biti manje prepoznatljivi, jer su formule preuređene tako da su svi pojmovi sa nepoznatim temperaturama (svih čvorova i unutrašnjeg vazduha) premešteni na levu stranu i svi termini nezavisni od nepoznatih temperatura na desnu stranu. Broj formula jednak je broju građevinskih elemenata u termičkoj zoni, pomnožen sa brojem čvorova, odnosno temperatura, po elementu zgrade.

II.2.1 Energetski bilans na nivou zone

Energetski bilans za termički klimatizovanu zonu (*ztc* – *thermally conditioned zone*), obuhvata akumulaciju toplote u zoni (*ztc*), konvekciju između unutrašnjih površina građevinskih elemenata i vazduha unutar zone, ventilaciju, uticaj toplotnih mostova, konvektivni deo unutrašnjih i solarnih dobitka toplote, kao i toplotnih opterećenja grejanja/hlađenja [1,3]:

$$\frac{C_{int,ztc}}{\Delta t} \cdot (\theta_{int,a,ztc,t} - \theta_{int,a,ztc,t-1}) + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci,eli}) \cdot (\theta_{int,a,ztc,t} - \theta_{pln,eli,t}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve,vei,t} \cdot (\theta_{int,a,ztc,t} - \theta_{sup,vei,t}) + H_{tr,tb,ztc} \cdot (\theta_{int,a,ztc,t} - \theta_{e,a,t}) = f_{int,c} \cdot \Phi_{int,ztc,t} + f_{sol,c} \cdot \Phi_{sol,ztc,t} + f_{H/C,c} \cdot \Phi_{H/C,ztc,t} \quad [W] \quad (1)$$

Prethodni izraz se za potrebe formiranja matrice transformiše u oblik:

$$\left[\frac{C_{int,ztc}}{\Delta t} + \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci,eli}) + \sum_{vei=1}^{ven} H_{ve,vei,t} + H_{tr,tb,ztc} \right] \cdot \theta_{int,a,ztc,t} - \sum_{eli=1}^{eln} (A_{eli} \cdot h_{ci,eli} \cdot \theta_{pln,eli,t}) = \frac{C_{int,ztc}}{\Delta t} \cdot \theta_{int,a,ztc,t-1} + \sum_{vei=1}^{ven} (H_{ve,vei,t} \cdot \theta_{sup,vei,t}) + H_{tr,tb,ztc} \cdot \theta_{e,a,t} + f_{int,c} \cdot \Phi_{int,ztc,t} + f_{sol,c} \cdot \Phi_{sol,ztc,t} + f_{H/C,c} \cdot \Phi_{H/C,ztc,t} \quad [W] \quad (2)$$

II.2.2 Energetski bilans na nivou elementa zgrade

Energetski bilans za spoljašnji površinski čvor, koji je okrenut prema „spoljnoj“ strani, *pli* = 1, obuhvata akumulaciju toplote čvora (*pli*), konvekciju i radijaciju između spoljašnje površine građevinskog elementa (*eli*) i spoljnog vazduha, provođenje toplote između čvorova (*pli* i *pli+1*), apsorpciju difuznog i direktnog Sunčevog zračenja, kao i toplotno zračenje prema nebu [1,3]:

$$\frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli,eli,t-1}) + h_{ce,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{e,t}) +$$

$$+ h_{re,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{e,t}) + h_{pli,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli+1,eli,t}) = a_{sol,pli,eli} \cdot (I_{sol,dif,eli,t} + I_{sol,dir,eli,t} \cdot F_{sh,obst,eli,t}) - \Phi_{sky,eli,t} \quad [W/m^2] \quad (3)$$

Prethodni izraz se za potrebe formiranja matrice transformiše u oblik:

$$\left(\frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} + h_{ce,eli} + h_{re,eli} + h_{pli,eli} \right) \cdot \theta_{pli,eli,t} - h_{pli,eli} \cdot \theta_{pli+1,eli,t} = \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli,eli,t-1} + (h_{ce,eli} + h_{re,eli}) \cdot \theta_{e,t} + a_{sol,pli,eli} \cdot (I_{sol,dif,eli,t} + I_{sol,dir,eli,t} \cdot F_{sh,obst,eli,t}) - \Phi_{sky,eli,t} \quad [W/m^2] \quad (4)$$

Energetski bilans za unutrašnje čvorove, *pli* = 2,..., *pln-1*, obuhvata provođenje toplote između čvorova (*pli* i *pli-1*, *pli* i *pli+1*), kao i akumulaciju toplote čvora (*pli*) [1,3]:

$$h_{pli-1,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli-1,eli,t}) + \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli,eli,t-1}) + h_{pli,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli+1,eli,t}) = 0 \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Prethodni izraz se za potrebe formiranja matrice transformiše u oblik:

$$-(h_{pli-1,eli} \cdot \theta_{pli-1,eli,t}) + \left[\frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} + h_{pli,eli} + h_{pli-1,eli} \right] \cdot \theta_{pli,eli,t} - h_{pli,eli} \cdot \theta_{pli+1,eli,t} = \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli,eli,t-1} \quad [W/m^2] \quad (6)$$

Energetski bilans za unutrašnji površinski čvor, koji je okrenut prema termičkoj zoni (*ztc*), *pli* = *pln*, obuhvata provođenje toplote između čvorova (*pln* i *pln-1*), akumulaciju toplote čvora *pln*, konvekciju između unutrašnje površine građevinskog elementa (*eli*) i vazduha unutar zone, zračenje unutrašnjeg površinskog čvora (*pln*), radijativni deo unutrašnjih i solarnih dobitka toplote, kao i toplotnih opterećenja grejanja/hlađenja [1,3]:

$$h_{pli-1,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli-1,eli,t}) + \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli,eli,t-1}) + h_{ci,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{int,a,ztc,t}) + \sum_{elk=1}^{eln} \frac{A_{elk}}{A_{tot}} \cdot h_{ri,eli} \cdot (\theta_{pli,eli,t} - \theta_{pli,elk,t}) = \frac{1}{A_{tot}} \cdot \left[(1 - f_{int,c}) \cdot \Phi_{int,ztc,t} + (1 - f_{sol,c}) \cdot \Phi_{sol,ztc,t} + (1 - f_{H/C,c}) \cdot \Phi_{H/C,ztc,t} \right] \quad [W/m^2] \quad (7)$$

Prethodni izraz se za potrebe formiranja matrice transformiše u oblik:

$$-(h_{pli-1,eli} \cdot \theta_{pli-1,eli,t}) + \left[\frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} + h_{ci,eli} + h_{ri,eli} \cdot \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \right) + h_{pli-1,eli} \right] \cdot \theta_{pli,eli,t} - h_{ci,eli} \cdot \theta_{int,a,ztc,t} - \sum_{elk=1}^{eln} \left(\frac{A_{elk}}{A_{tot}} \right) \cdot h_{ri,eli} \cdot \theta_{pli,elk,t} = \frac{k_{pli,eli}}{\Delta t} \cdot \theta_{pli,eli,t-1} + \frac{1}{A_{tot}} \cdot \left[(1 - f_{int,c}) \cdot \Phi_{int,ztc,t} + (1 - f_{sol,c}) \cdot \Phi_{sol,ztc,t} + (1 - f_{H/C,c}) \cdot \Phi_{H/C,ztc,t} \right] \quad [W/m^2] \quad (8)$$

II.3 Postupak određivanja temperatura čvorova građevinskih elemenata i vazduha u termičkoj zoni

Od izraza energetskih bilansa za svaki element zgrade i toplotnog bilansa za termički klimatizovanu zonu (ztc), u vremenskom intervalu t , formira se kvadratna matrica [1]:

$$[\text{Matrica A}] \times [\text{Vektor temperature čvora X}] = [\text{Vektor B}] \quad (9)$$

gde su:

[Matrica A] - (poznati) koeficijenti na levoj strani formula;

[Vektor B] - (poznati) članovi na desnoj strani formula;

[Vektor temperature čvora X] - (nepoznate) temperature koje je potrebno izračunati ($pli=1..pln$, $eli=1..eln$): $(\theta_{1,1,ztc,t}, \theta_{1,eli,ztc,t}, \dots, \theta_{pli,1,ztc,t}, \dots, \theta_{pli,eli,ztc,t}, \dots, \theta_{pln,eli,ztc,t}, \dots, \theta_{pli,eln,ztc,t}, \dots, \theta_{pln,eln,ztc,t}, \theta_{int,a,ztc,t})$;

gde su:

$\theta_{pli,eli,ztc,t}$ temperatura u čvoru pli građevinskog elementa eli , [°C];

$\theta_{int,a,ztc,t}$ temperatura vazduha unutar zone, [°C].

Rešavanjem matrica za svaki sat, kao rezultat dobijaju se vrednosti nepoznatih temperatura, koje su neophodne kako bi se odredile vrednosti časovnih toplotnih opterećenja grejanja i hlađenja.

II.4 Postupak određivanja potrebne energije za grejanje i hlađenje

Postupak određivanja potrebne energije za grejanje i hlađenje sprovodi se za svaki sat, u opštem slučaju u 5 koraka. U prvom koraku proračun unutrašnje radne temperature, $\theta_{int,op,ztc,t}$, za svaku zonu sprovodi se pod pretpostavkom da se zona dodatno ne greje, odnosno dodatno ne hladi, tj. za tzv. slobodne uslove ($\Phi_{HC,ld,ztc,t} = 0$ W). Unutrašnja radna temperatura $\theta_{int,op,ztc,t}$, za termički klimatizovanu zonu (ztc) određuje se kao srednja vrednost temperature vazduha unutar zone i srednje temperature zračenja svih površina koje obuhvataju zonu:

$$\theta_{int,op,ztc,t} = \frac{\theta_{int,a,ztc,t} + \theta_{int,r,mn,ztc,t}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (10)$$

Ukoliko je vrednost dobijene radne temperature vazduha za slobodne uslove između propisanih vrednosti unutrašnje radne temperature vazduha za slučaj grejanja, odnosno slučaj hlađenja zone, $\theta_{int,set,H,ztc,t} \leq \theta_{int,op,0,ztc,t} \leq \theta_{int,set,C,ztc,t}$, preskaču se svi naredni koraci osim petog, u kom se proglašava da u satu u zoni za koji je izvršen proračun, zonu nije potrebno niti grejati, niti hladiti: $\Phi_{HC,ld,ztc,t} = 0$ [W], a za stvarnu temperaturu vazduha unutar zone usvaja se vrednost prethodno određene radne temperature za slobodne uslove: $\theta_{int,op,ac,ztc,t} = \theta_{int,op,0,ztc,t}$ [°C].

Ukoliko nije ispunjen prethodni uslov, prelazi se na drugi korak. Pod uslovom da je izračunata radna temperatura vazduha za slobodne uslove viša od propisane vrednosti unutrašnje radne temperature vazduha, $\theta_{int,op,0,ztc,t} > \theta_{int,set,C,ztc,t}$, usvaja se da je vrednost temperature vazduha unutar zone jednaka vrednosti propisane temperature vazduha za slučaj hlađenja zone $\theta_{int,op,set,ztc,t} = \theta_{int,set,C,ztc,t}$ [°C], a da je zonu potrebno hladiti. Ukoliko je izračunata radna temperatura vazduha za slobodne uslove niža od propisane vrednosti unutrašnje radne temperature vazduha, $\theta_{int,op,0,ztc,t} < \theta_{int,set,H,ztc,t}$, usvaja se da je vrednost

temperature vazduha unutar zone jednaka vrednosti propisane temperature vazduha za slučaj grejanja zone $\theta_{int,op,set,ztc,t} = \theta_{int,set,H,ztc,t}$ [°C], a da je zonu potrebno grejati.

Za toplotnu snagu, kojom je potrebno hladiti, odnosno grejati zonu, kako bi se dostigla usvojena temperatura vazduha unutar zone, tj. za tzv. toplotno opterećenje, najpre se usvaja maksimalna dostupna snaga grejanja, odnosno hlađenja: $\Phi_{HC,upper,ztc,t} = \Phi_{HC,avail,ztc,t}$ [W]. Ukoliko njena vrednost nije poznata, usvaja se da ona iznosi:

$$\Phi_{HC,upper,ztc,t} = 10 \times A_{use,ztc} \quad [W] \quad (11)$$

gde je $A_{use,ztc}$ [m²], korisna površina zone.

Pod ovim uslovima, ponovo se određuje unutrašnja radna temperatura vazduha u zoni, $\theta_{int,op,ztc,t} = \theta_{int,op,upper,ztc,t}$ [°C], kao i donja vrednost toplotne snage za grejanje, odnosno hlađenje, $\Phi_{HC,ld,un,ztc,t}$, prema izrazu:

$$\Phi_{HC,ld,un,ztc,t} = \Phi_{HC,upper,ztc,t} \cdot \frac{(\theta_{int,op,set,ztc,t} - \theta_{int,op,0,ztc,t})}{(\theta_{int,op,upper,ztc,t} - \theta_{int,op,0,ztc,t})} \quad [W] \quad (12)$$

U narednom, trećem koraku, proverava se da li je raspoloživa toplotna snaga grejanja, odnosno hlađenja, dovoljna kako bi se zadovoljili uslovi komfora. Ukoliko je prethodno dobijena donja vrednost toplotne snage, $\Phi_{HC,ld,un,ztc,t}$, između vrednosti maksimalne raspoložive snage grejanja, $\Phi_{H,avail,ztc,t}$, i maksimalne raspoložive snage hlađenja, $\Phi_{C,avail,ztc,t}$, preskače se četvrti korak, i prelazi se na poslednji, peti korak, u kome se proglašava da je u satu u zoni za koji je izvršen proračun, toplotna snaga jednaka vrednosti donje toplotne snage: $\Phi_{HC,ld,ztc,t} = \Phi_{HC,ld,un,ztc,t}$ [W], a stvarna temperatura vazduha unutar zone jednaka je vrednosti propisane temperature vazduha: $\theta_{int,op,ac,ztc,t} = \theta_{int,op,set,ztc,t}$ [°C].

Ukoliko nije ispunjen prethodni uslov, primenjuje se četvrti korak, u kom se konstatuje da raspoloživa snaga grejanja ili hlađenja nije dovoljna, tačnije propisana vrednost temperature vazduha unutar zone u datom satu neće biti dostignuta. Pod uslovom da je vrednost toplotne snage pozitivna, $\Phi_{HC,ld,un,ztc,t}$, proglašava se da je toplotna snaga za grejanje zone u datom satu jednaka maksimalno dostupnoj snazi grejanja, $\Phi_{H,ld,ztc,t} = \Phi_{H,avail,ztc,t}$ [W]. Ukoliko je vrednost toplotne snage negativna, $\Phi_{HC,ld,un,ztc,t}$, proglašava se da je toplotna snaga za grejanje zone u datom satu jednaka maksimalno dostupnoj snazi hlađenja, $\Phi_{C,ld,ztc,t} = \Phi_{C,avail,ztc,t}$ [W]. Usvaja se da je vrednost stvarne temperature vazduha unutar zone jednaka unutrašnjoj radnoj temperaturi vazduha u zoni za maksimalnu snagu grejanja ili hlađenja, izračunate u drugom koraku: $\theta_{int,op,ac,ztc,t} = \theta_{int,op,upper,ztc,t}$ [°C].

Poslednji, peti korak služi da se prikaže rezultat proračuna, ukoliko je dobijena pozitivna vrednost toplotne snage, usvaja se:

$$\begin{aligned} \Phi_{H,ld,ztc,t} &= \Phi_{HC,ld,ztc,t} \\ \Phi_{C,ld,ztc,t} &= 0 \end{aligned} \quad [W] \quad (13)$$

Ukoliko je negativna vrednost toplotne snage, usvaja se [1]:

$$\begin{aligned} \Phi_{C,ld,ztc,t} &= -\Phi_{HC,ld,ztc,t} \\ \Phi_{H,ld,ztc,t} &= 0 \end{aligned} \quad [W] \quad (14)$$

II.5 Energetska potreba za (suvo) grejanje i hlađenje

Mesečne energetske potrebe za grejanjem/hlađenjem, $Q_{H/C;nd;ztc;m}$, u termički klimatizovanoj zoni, ztc, računaju se kao zbir časovnih opterećenja grejanja/hlađenja:

$$Q_{H/C;nd;ztc;m} = 0.001 \times \sum_t (\Phi_{H/C;ld;ztc;t} \cdot \Delta t_h) \text{ [kWh]} \quad (15)$$

gde su:

$Q_{H/C;nd;ztc;m}$ - energetske potrebe za grejanjem/hlađenjem u zoni ztc, u mesecu m, [kWh];

$\Phi_{H/C;ld;ztc;t}$ - toplotno opterećenje grejanja/hlađenja u zoni ztc, u vremenskom intervalu t, [W];

Δt_h - dužina vremenskog intervala t, $\Delta t_h = 1$ h za vremenski interval po satu.

Godišnje energetske potrebe za grejanjem/hlađenjem, u termički klimatizovanoj zoni, ztc, računaju se kao zbir mesečnih energetskih potreba:

$$Q_{H/C;nd;ztc;an} = \sum_m Q_{H/C;nd;ztc;m} \text{ [kWh]} \quad (16)$$

gde je:

$Q_{H/C;nd;ztc;an}$ - godišnja potreba za grejanjem/hlađenjem u zoni ztc, [kWh].

Za proračun specifičnih energetskih potreba sistema za grejanje i hlađenje, mogu se primeniti ograničenja na dužinu grejne ili rashladne sezone [1].

II.6 Projektno opterećenje za grejanje i hlađenje

Proračun (godišnjeg) projektnog opterećenja za grejanje/hlađenje termičke zone sprovodi se kao i proračun za energetske potrebe, uz klimatske i operativne uslove koji su dati u ISO 52016-1.

Vrednost projektnog godišnjeg suvog opterećenja za grejanje termičke zone, $\Phi_{H;ld;des;ztc;an}$, određuje se kao maksimalna vrednost suvog opterećenja u zoni ztc, u vremenskom intervalu t:

$$\Phi_{H;ld;des;ztc;an} = \max_t (\Phi_{H;ld;ztc;t}) \text{ [W]} \quad (17)$$

Vrednost projektnog godišnjeg suvog opterećenja za hlađenje termičke zone, $\Phi_{C;ld;des;ztc;an}$, određuje se kao maksimalna vrednost suvog opterećenja u zoni ztc, u vremenskom intervalu t [1]:

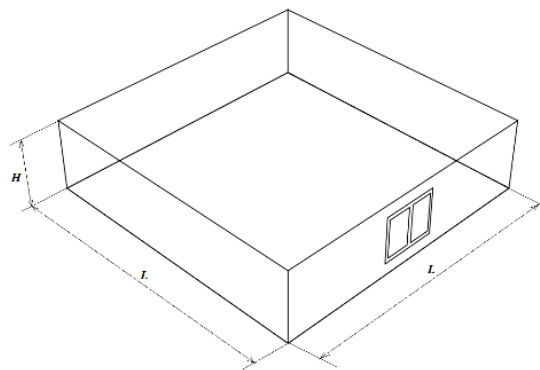
$$\Phi_{C;ld;des;ztc;an} = \max_t (\Phi_{C;ld;ztc;t}) \text{ [W]} \quad (18)$$

III PRIMENA ČASOVNOG PRORAČUNA NA KONKRETNOM PRIMERU

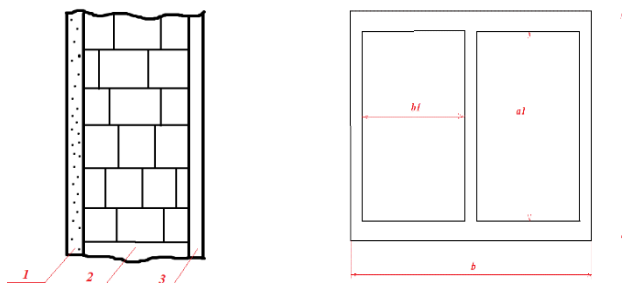
Časovni proračun iz ISO 52016-1, primenjen je na model objektu sa slike 4, koji ujedno predstavlja termičku zonu. Termički omotač čine četiri spoljna zida (slika 5 i tabela 1) dimenzija $L \times L \times H = 10 \times 10 \times 2,6$ m i spoljni prozor (slika 6) dimenzija građevinskog otvora $a \times b = 1,7 \times 2$ m i dimenzija stakla $a_1 \times b_1 = 1,4 \times 0,85$ m.

Radi pojednostavljenja proračuna, zanemaruje se pod i tavanica objekta. Takođe, smatra se da su temperature unutrašnjih površina zidova jednake u svim tačkama.

Određivanje potrebne energije za grejanje i hlađenje zone model objekta sa slike 4 izvršeno je za period od godinu dana, tačnije 8760 h. Za polazni sat proračuna uzet je 17.09.2018. u 20h. Tog dana je prosečna dnevna temperatura spoljnog vazduha u Beogradu bila 20,1 °C. Na ovaj način, obezbeđeno je da se ceo sistem u polaznom trenutku nalazi u temperaturskoj ravnoteži.



Slika 4. Ilustracija objekta



Slika 5. Struktura spoljnog zida

Slika 6. Spoljni prozor

Tabela 1. Svojstva slojeva spoljnog zida

Vrsta materijala	Debljina δ [m]	Gustina ρ [kg/m ³]	Specifična toplota c [J/kgK]	Toplotna provodljivost λ [W/mK]
1. krečni malter	0,02	1600	1050	0,81
2. puna opeka	0,2	1200	920	0,47
3. cementni malter	0,025	2100	1050	1,4

Vrednosti propisanih radnih temperatura unutrašnjeg vazduha iznose:

- za grejanje, $\theta_{int;set;H;ztc;t} = 20$ °C, vrednost usvojena iz tabele 1 dokumenta [7], za 2. kategoriju komfora;
- za hlađenje, $\theta_{int;set;C;ztc;t} = 26$ °C, vrednost usvojena iz tabele 1 dokumenta [7], za 2. kategoriju komfora.

Korišćenjem programskog jezika Python, za svaki sat termičke zone, prolazi se kroz pet prethodno opisanih koraka proračuna. Rezultati se za svaki korak (sat) skladište u Excel datoteku, kako bi se lakše predstavljali i obrađivali.

Godišnja energetska potreba za grejanjem termičke zone, tj. objekta sa slike 4, računa se kao zbir mesečnih potreba i iznosi:

$$Q_{H;nd;ztc;an} = \sum_m Q_{H;nd;ztc;m} = 7912,34 \text{ kWh} \quad (17)$$

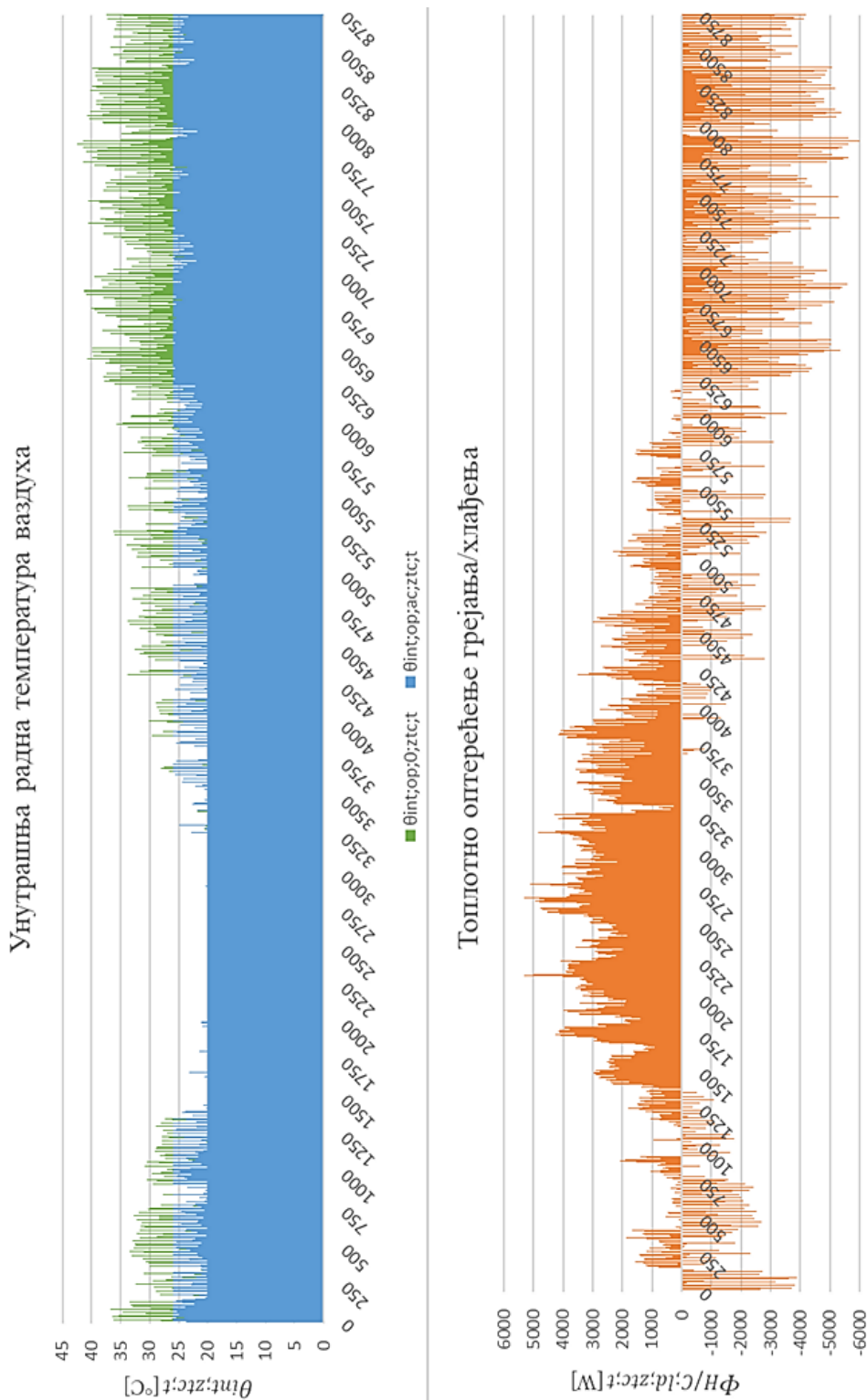
Godišnja energetska potreba za hlađenjem termičke zone, tj. objekta sa slike 4, računa se kao zbir mesečnih potreba i iznosi:

$$Q_{C;nd;ztc;an} = \sum_m Q_{C;nd;ztc;m} = 3402,36 \text{ kWh} \quad (18)$$

Na slici 7 prikazani su dijagrami sa radnom temperaturom

unutrašnjeg vazduha u slobodnim uslovima za svaki sat (zeleno boja), $\theta_{\text{int;op;0;zt};t}$, stvarnom radnom temperaturom unutrašnjeg

vazduha (plava boja), $\theta_{\text{int;op;ac;zt};t}$, kao i časovnim toplotnim opterećenjem grejanja i hlađenja (narandžasta boja), $\Phi_{\text{H/C;ld;zt};t}$.



Slika 7. Rezultat godišnjeg proračuna

Sa dijagrama se može jasno videti da u zimskom periodu, kada je pik sezone, maksimalno potrebno opterećenje grejanja iznosi 5300 W, kako bi stvarna temperatura vazduha u prostoriji bila

jednaka zadatoj temperaturi za grejanje. U letnjem periodu, kada je temperatura u slobodnim uslovima jednaka 42 °C, potrebno je odvesti 6000 W, kako bi stvarna temperatura vazduha bila

jednaka zadatoj temperaturi za hlađenje.

V ZAKLJUČAK

Osnovna kvalitativna prednost časovne metode u poređenju sa mesečnom jeste da obuhvata uticaj časovnih i dnevnih varijacija spoljnih klimatskih uticaja. Zatim, načina korišćenja termotehničkih sistema, kao npr. položaja roletni, termostata, namene prostorije, akumulacije toplote, itd. Takođe, ova časovna metoda ima kompaktniji i pouzdaniji postupak dinamičkih interakcija u odnosu na mesečni metod. Tačnost metode, odnosno, u kojoj meri rezultati proračuna odgovaraju stvarnoj potrošnji energije zgrade, zavisi od kvaliteta ulaznih podataka.

U slučaju proračuna energetske karakteristika starih postojećih zgrada, za slučaj da bi prikupljanje svih potrebnih tzv. ulaznih podataka bilo previše zahtevno, ISO 52016-1 predviđa korišćenje podataka na nacionalnom ili regionalnom nivou. Drugim rečima, ISO 52016-1 pruža mogućnost za postizanje visoko ponovljivog rezultata, dozvoljavajući da se na nekoliko nivoa može odlučiti, npr. da se na nacionalnom nivou propišu posebne opcije, granični uslovi i/ili unos podataka.

Konačno, rezultat proračuna po metodologiji časovne metode, propisane standardom ISO 52016-1, na model objektu prikazanom na slici 4, je očekivan, s obzirom da se radi o prostoriji sa spoljnim zidovima bez izolacije, kao i spoljnim prozorom.

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGMENT

Ovde prikazani rezultati su rezultat istraživanja podržanog od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija RS po Ugovoru o finansiranju naučnoistraživačkog rada zaposlenih u nastavi na akreditovanim visokoškolskim ustanovama u 2024. godini br. 451-03-65/2024-03/200105 od 5.2.2024. godine.

OZNAKE

A_{eli}	površina građevinskog elementa <i>eli</i> [m ²]
A_{elk}	površina građevinskog elementa <i>elk</i> [m ²]
$A_{use; ztc}$	korisna površina zone [m ²]
A_{tot}	zbir površina A_{elk} svih građevinskih elemenata <i>elk</i> = 1, ..., <i>eln</i> [m ²]
$\alpha_{sol; pli; eli}$	koeficijent solarne apsorpcije na spoljnoj površini [-]
$C_{int; ztc}$	unutrašnji toplotni kapacitet zone [J/K]
C_i	toplotni kapacitet čvora <i>i</i> [J/kgK]
$F_{sh, obst; eli; t}$	faktor zasenčenja za spoljne prepreke građevinskog elementa <i>eli</i> [-]
$f_{int; c; ztc}$	konvektivni udeo unutrašnjih dobitaka [-]
$f_{sol; c; ztc}$	konvektivni udeo Sunčevog zračenja [-]
$f_{H/C; c; ztc}$	konvektivni udeo sistema grejanja/hlađenja [-]
$h_{ce; eli}$	koeficijent prelaza toplote spoljašnje konvektivne površine građevinskog elementa <i>eli</i> [W/m ² K]
$h_{ci; eli}$	koeficijent prelaza toplote unutrašnje konvektivne površine građevinskog elementa <i>eli</i> [W/m ² K]

$h_{pli; eli}$	provodljivost između čvora <i>pli</i> + 1 i čvora <i>pli</i> [W/m ² K]
$h_{pli-1; eli}$	provodljivost između čvora <i>pli</i> i čvora <i>pli</i> -1 [W/m ² K]
$h_{re; eli}$	koeficijent prelaza toplote spoljašnje radijantne površine građevinskog elementa <i>eli</i> [W/m ² K]
$h_{ri; eli}$	koeficijent prelaza toplote unutrašnje radijantne površine građevinskog elementa <i>eli</i> [W/m ² K]
$H_{i; i}$	provodljivost između čvora <i>i</i> i čvora <i>i</i> +1 [W/K]
$H_{tr; tb; ztc}$	ukupan koeficijent razmene toplote za toplotne mostove [W/K]
$H_{ve; vei; t}$	ukupan koeficijent razmene toplote ventilacijom za element <i>vei</i> [W/K]
$I_{sol; dif; eli; t}$	difuzni deo Sunčevog zračenja na elementu <i>eli</i> [W/m ²]
$I_{sol; dir; eli; t}$	direktni deo Sunčevog zračenja na elementu <i>eli</i> [W/m ²]
$k_{pli; eli}$	površinski toplotni kapacitet čvora <i>pli</i> [J/m ² K]
$Q_{H/C; nd; ztc; m}$	Potrebe za grejanjem/hlađenjem u zoni <i>ztc</i> , u mesecu <i>m</i> [kWh]
$Q_{H/C; nd; ztc; g}$	godišnje potrebe za grejanjem/hlađenjem u zoni <i>ztc</i> [kWh]

GRČKI SIMBOLI

Δt	dužina vremenskog intervala <i>t</i> [s]
$\vartheta_{i, t}$	temperatura čvora <i>i</i> u datom vremenskom intervalu <i>t</i> [°C]
$\vartheta_{i+1, t}$	temperatura čvora <i>i</i> +1 u datom vremenskom intervalu <i>t</i> [°C]
$\vartheta_{i, t-1}$	temperatura čvora <i>i</i> u prethodnom vremenskom intervalu <i>t</i> - Δt [°C]
$\vartheta_{int; set; H; ztc; t}$	propisana vrednost unutrašnje temperature za grejanje [°C]
$\vartheta_{int; set; C; ztc; t}$	propisana vrednost unutrašnje temperature za hlađenje [°C]
$\vartheta_{int; op; ztc; t}$	unutrašnja radna temperatura [°C]
$\vartheta_{int; op; 0; ztc; t}$	radna temperatura u slobodnim uslovima [°C]
$\vartheta_{int; ac; op; zt; t}$	stvarna unutrašnja radna temperatura [°C]
$\vartheta_{int; op; upper; ztc; t}$	unutrašnja radna temperatura, dobijena za gornju vrednost opterećenja [°C]
$\vartheta_{int; a; ztc; t}$	unutrašnja temperatura vazduha [°C]
$\vartheta_{int; a; ztc; t-1}$	unutrašnja temperatura vazduha u zoni <i>ztc</i> u prethodnom vremenskom intervalu (<i>t</i> - Δt) [°C]
$\vartheta_{int; r; mn; ztc; t}$	srednja temperatura zračenja [°C]
$\vartheta_{pli; eli; t}$	temperatura u čvoru <i>pli</i> građevinskog elementa <i>eli</i> [°C]
$\vartheta_{pli-1; eli; t}$	temperatura u čvoru <i>pli</i> -1 građevinskog elementa <i>eli</i> [°C]
$\vartheta_{pli+1; eli; t}$	temperatura u čvoru <i>pli</i> +1 građevinskog elementa <i>eli</i> [°C]
$\vartheta_{pli; eli; t-1}$	temperatura u čvoru <i>pli</i> u prethodnom vremenskom intervalu (<i>t</i> - Δt) [°C]
$\vartheta_{pli=pln; eli; t}$	temperatura u čvoru <i>pli</i> = <i>pln</i> građevinskog elementa <i>eli</i> [°C]
$\vartheta_{sup; vei; t}$	temperatura dovodnog vazduha, koji ulazi u zonu <i>ztc</i> [°C]

$\vartheta_{e,a;t}$	temperatura spoljašnjeg vazduha [$^{\circ}\text{C}$]
$\phi_{C;ld;des;zt;c;an}$	(godišnje) projektno suvo opterećenje hlađenja u termičkoj zoni ztc [W]
$\phi_{H;ld;des;zt;c;an}$	(godišnje) projektno suvo opterećenje grejanja u termičkoj zoni ztc [W]
$\phi_{H/C;ld;zt;t}$	opterećenje grejanja/hlađenja u zoni ztc , u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{H/C;upper;zt;t}$	gornja vrednost opterećenja grejanja/hlađenja [W]
$\phi_{H/C;ld;un;zt;t}$	neograničeno opterećenje grejanja/hlađenja, kako bi se dostigla propisana vrednost temperature [W]
$\phi_{C;avail;zt;t}$	maksimalna raspoloživa snaga hlađenja u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{H;avail;zt;t}$	maksimalna raspoloživa snaga grejanja u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_i;t$	dovedena toplota čvoru i u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{int;zt;t}$	ukupni unutrašnji toplotni dobitak u proračunskoj zoni ztc , u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{H/C;zt;t}$	opterećenje grejanja/hlađenja u proračunskoj zoni ztc , u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{sol;zt;t}$	ukupni solarni dobici toplote u proračunskoj zoni ztc , u vremenskom intervalu t [W]
$\phi_{sky;zt;t}$	(dodatno) toplotno zračenje prema nebu [W/m^2]

LITERATURA/REFERENCES

- [1] SRPS EN ISO 52016-1:2017 – Energetske performanse zgrada – Energija potrebna za grejanje i hlađenje, unutrašnje temperature i osetna i latentna toplotna opterećenja - Deo 1: Postupci proračuna, Institut za standardizaciju

Srbije (ISS), Beograd, 2017.

- https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iss:proj:53649 [pristupljeno 28.08 2023]
- [2] ISO/FDIS 13790:2007 – Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling. https://www.sysecol2.ethz.ch/OptiControl/LiteratureOC/ISO_07_FDIS_13790_ApprovalDraft.pdf [pristupljeno 28.08 2023]
- [3] SRPS CEN ISO/TR 52016-2:2017 – Energetske performanse zgrada – Energija potrebna za grejanje i hlađenje, unutrašnje temperature i osetna i latentna toplotna opterećenja - Deo 2: Objašnjenje i obrazloženje za ISO 52016-1 i ISO 52017-1, Institut za standardizaciju Srbije (ISS), Beograd, 2017. https://iss.rs/sr_Cyrl/project/show/iss:proj:53660 [pristupljeno 28.08 2023]
- [4] Ministarstvo životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja. Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada. https://www.paragraf.rs/propisi/pravilnik_o_energetskoj_efikasnosti_zgrada.html [pristupljeno 28.08 2023]
- [5] Photovoltaic geographical information system, typical meteorological year. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY [pristupljeno 28.08 2023]
- [6] Hogeling J. Report on Case Study to EN 16798-1 - Conditions of use - Final report, EPB Center, Rotterdam, Netherlands, 2021. https://epb.center/media/documents/EPB-Center-Case_Study_EN_16798-1_Condit_use_Report_2021-10-31.pdf [pristupljeno 14.02.2024]
- [7] Shinoda, J., Kazanci, O., Tanabe, S., Olesen, B. A review of the surface heat transfer coefficients of radiant heating and cooling systems, Building and Environment, Vol. 159, 106156, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.034>

AUTORI/AUTHORS

msr Sandra Kovačević - master inženjer mašinstva, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, sandrakovacevic912@gmail.com, ORCID [0009-0007-2567-6735](https://orcid.org/0009-0007-2567-6735)

Prof. dr Miloš Banjac, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, mbanjac@mas.bg.ac.rs, ORCID [0000-0001-8659-8581](https://orcid.org/0000-0001-8659-8581)

Determination of energy performance of building according to ISO 52016-1

Abstract – With the idea of harmonizing with current EU regulation regarding methodology used for energy certification of buildings, and with aim of achieving energy savings in the building sector, the dynamic hourly calculation methodology for determining energy needs of the building for heating and cooling was presented and analyzed. The presented method is based on the new, currently valid standard SRPS EN ISO 52016-1. Unlike the previous so-called three-node method, determined by the now extracted standard SRPS EN ISO 13790, this method does not group layers of the construction envelope, but treats separately each layer of each element of the construction envelope. Accordingly, the new calculation method is based on forming energy balance equations not only for the internal and external boundary surface, but also for each layer of the building element, and their coupled solution for boundary conditions that change on an hourly basis.

Due to complexity of this methodology, which in addition to the hourly temperatures of the external air, hourly values of solar irradiance, radiation to the sky, but also the own radiation of all solid surfaces, also takes into account dynamic behavior of all elements of the building's thermal envelope (resistance to heat conduction and heat accumulation of each layer of the envelope), a special software was developed, verification of which, as well as verification of methodology, was performed on the example of determining energy needs of a model object for heating and cooling..

Index Terms – Hourly calculation methodology, Building's heating and cooling needs, SRPS EN ISO 52016-1